

Introduction à la programmation objet



Objectifs du module

Approche objet de la programmation

- Connaître et maîtriser les concepts de la programmation objet
 - ▶ Classe, instance/objet, attribut, méthode, constructeur, encapsulation, héritage, interface, polymorphisme, liaison tardive
- Adopter le "penser objet"
 - ▶ Savoir décomposer un problème en classes et objets
 - ▶ Savoir expliquer ce qui différencie le paradigme objet des autres paradigmes
- Connaître les principes de la conception objet et savoir les appliquer

Objectifs du module

Le langage Java

- Connaître les principaux éléments de la syntaxe du langage Java et pouvoir expliquer clairement leur rôle et leur sémantique
 - ▶ `new`, `this`, `super`, `public`, `private`, `protected`, `static`, `final`, `extends`, `implements`, `package`, `import`, `enum`, `throws`, `throw`
- Savoir écrire (et corriger) un programme dans le langage Java
 - ▶ Maîtriser les "outils" pour développer en Java : `javac`, `java` (et `classpath`), `javadoc`, `jar`, *IDE*, débogueur
 - ▶ Comprendre le transtypage (*upcast/downcast*)
 - ▶ Être en mesure de choisir une structure de données appropriée et savoir utiliser les types Java `List`, `Set`, `Map` et `Iterator`
 - ▶ Savoir gérer les exceptions et connaître la différence entre la capture et la levée d'une exception

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques

Paradigme de programmation

- Est un style fondamental de programmation informatique qui traite de la manière dont les solutions aux problèmes doivent être formulées dans un langage de programmation (source : Wikipédia)
- Exemples de paradigme de programmation
 - ▶ Paradigme impératif (e.g., Pascal, C)
 - ▶ Paradigme objet (e.g., Java)
 - ▶ Paradigme fonctionnel (e.g., Lisp)
 - ▶ Paradigme logique (e.g., Prolog)
 - ▶ *etc.*

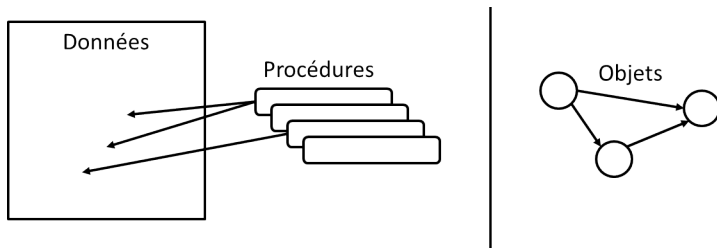
Programmation impérative et modulaire

- Programmation impérative
 - ▶ Un programme est une séquence d'instructions exécutées par un ordinateur pour modifier son état
 - ▶ Instructions : affectations, séquences, structures conditionnelles et itératives
- Programmation modulaire
 - ▶ Un programme est décomposé en éléments plus simples afin de faciliter son développement et permettre la réutilisation
 - ★ Principe diviser pour mieux régner
 - ▶ Éléments : procédures, fonctions, modules, unités
- Exemples de langage : Pascal, C...

Programmation objet

- Programmation objet
 - ▶ Un programme est un ensemble d'objets qui interagissent
 - ▶ Reprend et prolonge la démarche modulaire : décomposition d'un problème en parties simples
 - ▶ La programmation des traitements reste impérative
 - ▶ Plus intuitive car s'inspire du monde réel pour une modélisation plus naturelle
 - ▶ Facilite la réutilisation et la conception de grandes applications
- Exemples de langage : Java, C++, C#, Python, PHP5...

Programmation impérative vs programmation objet



Historique des langages de programmation objet

- 1967 : Simula
 - ▶ Langage à classes
- 1972 : Smalltalk
 - ▶ Langage "pur" objet
- 1983 : C++
- 1986 : Eiffel
- 1988 : CLOS (*Common Lisp Object System*)
- 1991 : Python

Historique de Java

- Début des années 90 : langage Oak (chêne)
 - ▶ Créé par James Gosling (*Sun Microsystems*)
 - ▶ Destiné à la programmation des systèmes embarqués
 - ▶ Objectif principal : améliorer le C++
 - ▶ Rebaptisé Java en 1994
- 1995 : Java 1.0
 - ▶ Lien avec le Web (applet)
 - ▶ Versions 1.1 (JavaBeans, RMI, JDBC)
- 1998 : Sun appelle Java 2 les versions de Java
 - ▶ 1.2 (Swing, optimisation JVM, collections), 1.3, 1.4 (assertions, regexp)
- 2004 : Java 5.0 (annotations, types génériques, enum, foreach)
 - ▶ Changement dans le système de numérotation (mais encore JDK 1.5)
- 2006 : Java 6 (amélioration de l'API, intégration SGBD)
- 2010 : Oracle rachète Sun
- 2011 : Java 7
- 2014 : Java 8
- 2018 : Java 9 (dernière version stable)

Caractéristiques de Java (1)

- Simple et familier
 - ▶ Basé sur C/C++, sans certaines caractéristiques compliquées ou mal utilisées (e.g., pas de pointeur, pas de gestion explicite de la mémoire)
- Orienté objet
 - ▶ Modèle objet propre tout en fournissant un accès à des types primitifs (`int`, `float`, etc.)
 - ★ Approche hybride adoptée pour des raisons de performance qui sont aujourd'hui largement obsolètes
 - ▶ Héritage simple + interfaces
 - ▶ Vaste bibliothèque standard (réutilisation)
- Portabilité du code source et des fichiers binaires (*bytecode*)
 - ▶ *Write once, run anywhere*
 - ★ Un code Java peut s'exécuter partout (i.e., quels que soient le matériel et le système d'exploitation) où il existe une machine virtuelle Java (du moins en théorie)
 - ▶ Bibliothèque standard indépendante
 - ▶ Définition (sémantique) précise du langage

Caractéristiques de Java (2)

- Sûr

- ▶ Fortement typé
 - ★ Vérification de type statique
- ▶ Transtypage contrôlé
- ▶ Contrôle de l'accès à la mémoire
 - ★ Pas de risque d'écrasement, pas de dépassement de tampon
 - ★ Pas d'arithmétique des pointeurs
 - ★ Vérification des bornes d'un tableau
- ▶ Gestion automatique de la mémoire (ramasse-miettes)
 - ★ Pas de fuite mémoire

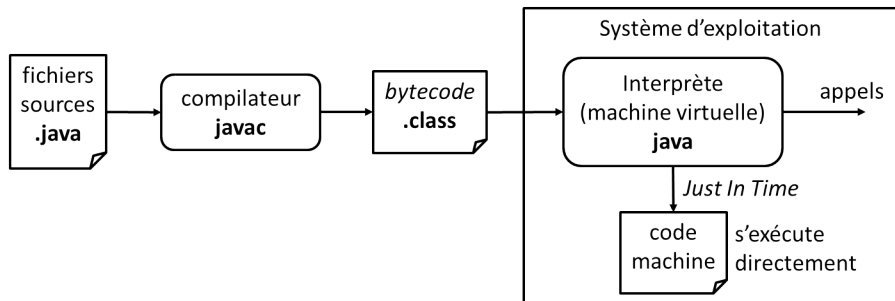
- Sécurisé

- ▶ Interprété, s'exécute sur une machine virtuelle protégée
- ▶ Bac à sable
 - ★ Par exemple, le code d'un applet ne peut pas accéder à la machine (sauf par des moyens clairement définis)
- ▶ Vérification du *bytecode*, signature de code, autorisation d'accès

Caractéristiques de Java (3)

- Dynamique
 - ▶ Chargement de classes et édition des liens dynamiques
 - ★ Permet d'étendre des systèmes à l'exécution
 - ★ Minimise les re-compilations et facilite la modularité
 - ▶ Introspection
 - ★ Capacité d'un programme à examiner et modifier sa structure et son comportement à l'exécution
- Distribué
 - ▶ Applets, servlets, RMI, Corba
- *Multi-threadé*
 - ▶ Exécution parallèle dans le même espace d'adressage

Comment marche Java ?



- Java est un langage compilé et interprété !
- *Bytecode* est un code intermédiaire pour la JVM, indépendant de la plate-forme, qui ne peut pas être directement exécuté par la machine
 - ▶ Quelle que soit la plate-forme (Windows, Linux, MacOS, etc.) :
 - ★ Est obtenu par compilation identique
 - ★ S'exécute à l'identique
 - ▶ Moins performant que le code natif (e.g., .exe) ?

Performances de Java

- Java a souffert des problèmes de performance pendant de nombreuses années par rapport à d'autres langages qui ont été directement compilés pour une plate-forme/machine particulière
 - ▶ Par exemple, C/C++
- Aujourd'hui, l'utilisation de la compilation à la volée (*Just In Time – JIT*) a largement éliminé ces problèmes
- La JVM est continuellement améliorée avec de nouvelles techniques
 - ▶ Interfaces de code natif (accès à des bibliothèques C) pour gagner en vitesse si nécessaire
 - ▶ Cache mémoire pour éviter le chargement (et la vérification) multiple d'une même classe
 - ▶ Ramasse-miettes : processus indépendant de faible priorité
- Java fournit d'excellentes performances pour de nombreux *frameworks* dans de nombreux domaines
- Minecraft est développé en Java + OpenGL

Que faut-il pour faire du Java ?

- Un éditeur de texte : emacs, vi, Notepad++, *etc.*
- Un kit de développement : JDK (*Java Development Kit*)
 - ▶ javac : compilateur
 - ▶ java : machine virtuelle pour une plate-forme particulière
 - ▶ javadoc : générateur de documentation HTML
 - ▶ jar : constructeur d'archives
 - ▶ jdb : débogueur
 - ▶ *etc.*
- Des outils d'automatisation : Ant, Makefile, *etc.*
- Un environnement de développement (*Integrated Development Environment – IDE*) : Eclipse, IntelliJ, Netbeans, *etc.*

Différentes plate-formes

- *Java Platform, Standard Edition* (Java SE)
 - ▶ *Java Runtime Environment* (JRE) : environnement d'exécution
 - ★ Java API, JVM, etc. pour exécuter une application/applet Java
 - ▶ *Java Development Kit* (JDK) : kit de développement
 - ★ JRE + outils de développement (compilateur, etc.)
- *Java Platform, Enterprise Edition* (Java EE)
 - ▶ Développement d'applications d'entreprise multi-couches (client/serveur) orientées composants (JavaBeans), services Web (servlet, JSP, XML), etc.
 - ▶ Inclus Java SE
- *Java Platform, Micro Edition* (Java ME)
 - ▶ Développement d'applications pour les téléphones mobiles, PDA et autres systèmes embarqués
 - ▶ Optimisée pour la mémoire, la puissance de traitement et les entrées/sorties

Premier programme : HelloWorld.java

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

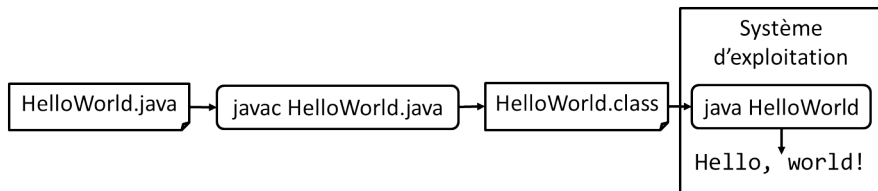
- Une classe par fichier
- Le nom de la classe est le même que celui du fichier

La méthode principale `main`

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

- Est publique et statique
- Ne retourne pas de valeur (`void`)
- Prend un seul paramètre : un tableau de chaîne de caractères correspondant aux arguments de la ligne de commande
- Est le point de départ de l'exécution du programme
- Chaque classe peut ou non définir sa méthode principale

Compilation et exécution



- **Compilation :** `> javac HelloWorld.java`
 - ▶ Détermine les dépendances et compile tous les fichiers nécessaires
 - ★ Il suffit donc de compiler la classe principale
 - ▶ Produit autant de fichiers `.class` qu'il y a de classes (ici, `HelloWorld.class`)
- **Exécution :** `> java HelloWorld`
 - ▶ Lance la JVM en exécutant la méthode `main` de la classe `HelloWorld`
 - ★ Attention à ne pas mettre d'extension derrière le nom de la classe !
 - ★ Peut être suivie d'arguments
 - ▶ Affiche dans la console : `Hello, world!`

Classpath

- Par défaut, les outils du JDK cherchent les classes dans le répertoire courant
- Si les classes sont dans plusieurs répertoires, utiliser le `classpath` :
 - ▶ Soit avec l'option `-classpath` des outils du JDK
 - ▶ Soit avec la variable d'environnement `CLASSPATH`
- Nécessaire dès que des bibliothèques (e.g., JUnit, Log4J) qui sont dans des répertoires ou fichiers d'archive (.jar) propres sont utilisées
- Exemples :
 - ▶ Unix : `javac -classpath /foo/junit.jar:. HelloWorld.java`
 - ▶ Windows : `java -classpath \foo\junit.jar;. HelloWorld`
 - ▶ Les classes sont cherchées dans `junit.jar`, puis dans le répertoire courant (`.`)

Un peu de lecture

- James Gosling, Bill Joy, Guy Steele, and Gilad Bracha, *The Java Language Specification*, Addison-Wesley, 3rd Edition, 2005
- Kathy Sierra and Bert Bates, *Head First Java*, O'Reilly Media, 2nd Edition, 2005
- Bruce Eckel, *Thinking in Java*, Prentice-Hall, 4th Edition, 2006
- Joshua Bloch, *Effective Java*, Addison-Wesley, 2nd Edition, 2008
- Ben Evans and David Flanagan, *Java in a Nutshell*, O'Reilly Media, 6th Edition, 2014
- Java API : <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/>

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base**
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques

Commentaires

```
public class HelloWorld {  
    /*  
     * Ceci est un commentaire en bloc  
     */  
    public static void main(String[] args) {  
        // Ceci est un commentaire en pleine ligne  
        System.out.println("Hello ,_world!"); // fin de ligne  
    }  
}
```

- Les commentaires en bloc peuvent s'étendre sur plusieurs lignes
 - ▶ À utiliser avant des classes ou des méthodes
- Les commentaires sur une ligne s'étendent jusqu'à la fin de la ligne
 - ▶ À utiliser à l'intérieur des méthodes
- Rappel : les commentaires ne doivent pas paraphraser le code

Javadoc

- Outil fourni dans le JDK : `> javadoc HelloWorld.java`
- Permet de produire automatiquement une documentation des classes Java au format HTML à partir des commentaires de leur code source
 - ▶ La documentation est directement rédigée dans le code source Java
 - ★ Facilite sa mise à jour
 - ★ Favorise (mais ne garantit pas) sa cohérence
- Permet une présentation standardisée de la documentation des classes Java

Commentaires structurés

```
/**  
 * Exemple de documentation de classe avec <i>javadoc</i>  
 * @author JML  
 * @version 1.0  
 */  
public class HelloWorld {  
    ...  
}
```

- Sont exploités par l'outil javadoc
- Sont placés avant l'élément (*i.e.*, classe, méthode, attribut) à documenter
- Peuvent contenir :
 - ▶ Des tags commençant par @
 - ★ @author : nom du développeur
 - ★ @param : documente un paramètre de méthode
 - ★ @return : documente la valeur de retour
 - ★ *etc.*
 - ▶ Des éléments HTML

Exemple de Javadoc

All Classes
HelloWorld

Package
Class
Use
Tree
Deprecated
Index
Help

Prev Class
Next Class
Frames
No Frames

Summary: Nested | Field | Constr | Method
Detail: Field | Constr | Method

Class HelloWorld

java.lang.Object
HelloWorld

```
public class HelloWorld
extends java.lang.Object
```

Exemple de documentation de classe avec *javadoc*

Version:
1.0

Author:
JML

Constructor Summary

Constructors

Constructor and Description
HelloWorld()

Method Summary

Methods

Modifier and Type	Method and Description
static void	main(java.lang.String[] args)

Methods inherited from class java.lang.Object

equals, getClass, hashCode, notify, notifyAll, toString, wait, wait, wait

Types primitifs

- **boolean** (1 octet) : `true` et `false`
 - ▶ En Java, aucun type ne peut être casté en booléen (`int` inclus)
 - ▶ Un booléen ne peut pas non plus être casté en un autre type
- **Entier non signé**
 - ▶ `char` (2 octets) : 0 à 0xffff (pour les caractères Unicode)
- **Entier signé**
 - ▶ `byte` (1 octet) : -128 à 127
 - ▶ `short` (2 octets) : -32768 à 32767
 - ▶ `int` (4 octets) : -2147483648 à 2147483647
 - ▶ `long` (8 octets) : -9223372036854775808 à 9223372036854775807
- **Nombre à virgule flottante signé**
 - ▶ `float` (4 octets) : 2^{-149} à $2^{128} - 2^{104}$
 - ▶ `double` (8 octets) : 2^{-1074} à $2^{1024} - 2^{971}$

Autres types

- Type référence
 - ▶ Fait référence à un objet en mémoire (pas un type primitif)
 - ▶ Peut être `null` si la référence ne se réfère à rien
 - ▶ Exemples : `String`, `Integer`
- En Java, les tableaux sont aussi des types référence
 - ▶ `int[] numArray; // à préférer`
 - ▶ `int numArray[]; // marche aussi`

Littéraux

- Un booléen est simplement `true` ou `false`
- Une valeur entière est directe
 - ▶ `int i = 22;`
- Toutefois, un littéral de type `long` utilise le suffixe `"L"`
 - ▶ `long secondsInYear = 31556926L;`
 - ▶ Éviter le `"l"` minuscule car ressemble à un 1 dans beaucoup de polices
- Le type par défaut d'une valeur décimale est `double`
 - ▶ `double pi = 3.14159265358979323;`
- Un littéral de type `float` utilise le suffixe `"F"`
 - ▶ `float goldenRatio = 1.618f;`
 - ▶ `"F"` ou `"f"` convient

Caractères et chaînes de caractères

- Les caractères peuvent être des caractères entre guillemets simples ou des nombres entre 0 et 65535
 - ▶ `char capA = 'A';` // à préférer
 - ▶ `char capA = 65;` // plus dur à maintenir
 - ▶ `'A' + 20 = ?`
- Les chaînes de caractères sont entre guillemets doubles
 - ▶ `String name = "Toto";`
- Les caractères spéciaux doivent être protégés
 - ▶ `String msg = "Il a dit : \"Java, c'est super !\"";`
 - ▶ Caractères spéciaux les plus utiles :
 - ★ `\t` (tabulation), `\r` (retour charriot), `\n` (nouvelle ligne),
`\\` (*backslash*), `\'` (guillemet simple), `\"` (guillemet double)

Convention de nommage

- Améliore la lisibilité des programmes
 - ▶ Utiliser des noms d'identifiant significatifs!
- Noms doivent commencer par une lettre et peuvent inclure uniquement des lettres et des chiffres
 - ▶ `_` et `$` sont considérés comme des "lettres" en Java
 - ▶ Ne pas utiliser `$` car il est utilisé par le compilateur pour les noms auto-générés
- Les majuscules sont très importantes dans le style de codage Java
 - ▶ Les attributs et les méthodes commencent par une minuscule, puis une majuscule à l'initiale de chaque mot d'un nom composé
 - ★ `exampleOfMethodName`
 - ▶ Les classes et les interfaces commencent par une majuscule, puis une majuscule à l'initiale de chaque mot d'un nom composé
 - ★ `ExampleOfClassname`
 - ▶ Les noms des *packages* doivent être tout en minuscules
 - ★ `java.lang`

Déclaration et initialisation de variables

- La déclaration des variables est similaire au C/C++ :

```
int i;  
boolean error = false;  
String name = "Toto";
```

- Les variables locales n'ont pas de valeur initiale par défaut

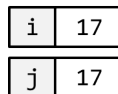
```
int i;  
i = i + 1;
```

⇒ Erreur à la compilation : la variable `i` n'a pas été initialisée
(En C/C++, ce code compilerait sans erreur)

Variables de type primitif et référence

- La différence entre les types primitif et référence est où est réellement stockée la valeur
- Type primitif :

```
int i = 17;
int j = i;
```



- ▶ Chaque variable stocke sa propre valeur (pile)

- Type référence :

```
String s1 = "Java!";
String s2 = s1;
```



- ▶ La valeur est stockée dans la mémoire principale (tas)
- ▶ Chaque variable contient l'adresse en mémoire de l'objet
- ▶ Les deux variables font référence au même objet

Opérateurs arithmétiques et de comparaison

- Même ensemble d'opérateurs qu'en C/C++
- Arithmétique simple : + - * / %
- Affectation composée : += -= *= /= *etc.*
- Incrémentation/décrémentation : ++ -- (pré et post)

```
int i = 5;  
int j = ++i; // j = 6, i = 6  
int k = i++; // k = 6, i = 7
```

- Comparaison : == != > >= < <=
 - ▶ Ces opérateurs produisent des valeurs booléennes

Opérateurs de logique booléenne

- Encore comme en C/C++
 - ▶ `&&` (ET logique) `||` (OU logique) `!` (NON logique)
- Ces opérateurs requiert des valeurs booléennes et produisent des valeurs booléennes
- Évaluation paresseuse (*lazy evaluation*)
 - ▶ `name != null && name.equals("Toto");`
 - ★ `name.equals("Toto")` uniquement évalué si `name != null`
 - ▶ Réciproquement, `name == null || !name.equals("Toto");`
- Ordre de priorité : `!` `&&` `||`

Opérateur de chaîne de caractères (String)

- Concaténation : + (comme l'opérateur d'addition)

```
String name = "Toto";
System.out.println("Hello_ " + name);
```

- Au moins un opérande doit être une chaîne de caractères pour que l'opérateur + soit l'opérateur de concaténation et non d'addition
 - L'opérateur + est évalué de gauche à droite

```
int i = 5;
int j = 7;
System.out.println("i_=" + i); // Affiche "i = 5"
System.out.println(i + j); // Affiche "12"
System.out.println("i_+_j_=" + i + j); // "i + j = 57"
System.out.println(i + j + "_=i_+_j_"); // "12 = i + j"
```

Flot de contrôle

- Instructions conditionnelles et itératives quasiment identiques au C/C++

```

if (condition)
    instruction ;
else if (condition)
    instruction ;
else
    instruction ;

```

```

while (condition)
    instruction ;

do
    instruction ;
while (condition) ;

```

- Différence : condition doit produire une valeur booléenne !
- Les blocs d'instructions sont mis entre accolades, comme en C/C++

```

if (condition) {
    instruction1 ;
    instruction2 ;
    ...
}

```

Instruction conditionnel switch

```
switch (expression) {  
    case valeur1 :  
        instructions ;  
        break ;  
    case valeur2 :  
        instructions ;  
        break ;  
    ...  
    default :  
        instructions ;  
}
```

- Si `break` est omis, les instructions du `case` suivant sont aussi exécutées
 - ▶ Factorisation de traitement

Opérateur conditionnel ternaire

`condition ? valeur_vrai : valeur_faux`

- `condition` doit produire une valeur booléenne
- Si `condition` est vrai, le résultat retourné est `valeur_vrai`, sinon c'est `valeur_faux`
- Exemples :
 - ▶ `statut = (age >= 18) ? "majeur" : "mineur";`
 - ▶ `return (age >= 18) ? "majeur" : "mineur";`

Boucle for (1)

- Très similaire au C++
 - 1 Initialiser (et possiblement déclarer) une ou plusieurs variables de boucle
 - 2 Tester certaines conditions avant chaque itération de la boucle
 - 3 Appliquer une ou plusieurs mises à jour aux variables de boucle

```

for (init; condition; update) statement;
for (init; condition; update) {
    statement1;
    ...
}

```

- Équivalente à une boucle `while`, mais en plus compacte

```

i = 1;
while (i <= 10) {
    sum += i;
    i++;
}

```

```

for (i = 1; i <= 10; i++)
    sum += i;

```

Boucle for (2)

- Peut spécifier plusieurs valeurs initiales

```
int i, sum;  
for (i = 1, sum = 0; i <= 10; i++)  
    sum += i;
```

- Peut déclarer les variables de boucle directement dans la boucle for

```
int sum = 0;  
for (int i = 1; i <= 10; i++)  
    sum += i;
```

- ▶ i est uniquement visible à l'intérieur de la boucle for
- ▶ Autrement dit, la portée de i est limitée à la boucle for

Boucle for (3)

- Peut spécifier plusieurs opérations de mise à jour

```
int sum = 0;  
for (int i = 1; i <= 10; sum += i , i++) /* rien */ ;
```

- ▶ La boucle for n'a pas besoin d'un corps !

- Encore plus compacte

```
int sum = 0;  
for (int i = 1; i <= 10; sum += i++) /* rien */ ;
```

- ▶ Difficile à maintenir, mieux vaut éviter !

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets**
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques

Terminologie : classes et objets

- Java est un langage de programmation objet
 - ▶ Les programmes Java sont entièrement composés de classes
- Un objet
 - ▶ A un état
 - ★ Ensemble de valeurs de données (attributs) qui caractérisent l'objet
 - ▶ A un comportement
 - ★ Ensemble d'opérations (méthodes) qui manipulent ces données d'une manière cohérente
 - ▶ A une identité
 - ★ Permet de s'adresser à l'objet
 - ★ Est unique (deux objets différents ont des identités différentes)
 - ★ Peut être nommée pour faire référence à l'objet
 - ★ Plusieurs références possibles pour une seule identité (*i.e.*, un seul objet)
 - ▶ Est une instance d'une classe
 - ★ N'a de réalité qu'à l'exécution du programme
- Une classe
 - ▶ Est un moule à objets
 - ▶ Définit l'état et le comportement des objets de cette classe
 - ▶ Définit un nouveau type dans le langage

Terminologie : attributs et méthodes

- Une classe est composée de membres
- Les attributs sont des variables typées associées à la classe
 - ▶ Ils stockent l'état de la classe qui peut évoluer dans le temps
- Les méthodes sont des opérations que la classe peut effectuer
 - ▶ Elles spécifient le comportement de la classe
 - ▶ Elles impliquent généralement, mais pas toujours, les attributs de la classe

Méthodes Java

<u>public</u>	<u>static</u>	<u>void</u>	<u>main</u>	<u>(String[] args)</u>
modificateur d'accès	modificateur de méthode	type de retour	nom de la méthode	liste des paramètres

- Retournent une valeur du type spécifié
- Ou ne retournent pas de valeur, indiqué par le mot clé `void`
- Peuvent prendre un nombre quelconque d'arguments/paramètres
 - ▶ "Aucun argument" est indiqué avec des parenthèses vides `()`, et non avec `void`
- La signature d'une méthode inclut son nom et sa liste de paramètres (les types)
- Peuvent être associées à des modificateurs
 - ▶ Tout comme les attributs
- Le corps (*i.e.*, le code) d'une méthode est son implémentation

Modificateurs d'accès

- Peuvent être utilisés sur des classes, des méthodes et des attributs
- Quatre modificateurs d'accès en Java :
 - ▶ `public` : n'importe qui peut y accéder
 - ▶ `protected` : les classes du même *package* et les sous-classes (dérivées) peuvent y accéder (cf. héritage)
 - ▶ Niveau d'accès par défaut si aucun modificateur n'est spécifié : seules les classes du même *package* peuvent y accéder
 - ★ Appelé accès *package-private* (cf. *package*)
 - ▶ `private` : seule la classe peut y accéder
- Protégez les détails d'implémentation en utilisant des modificateurs d'accès dans votre code !
 - ▶ Masquage d'information

Abstraction et encapsulation

Concepts clé de la programmation objet

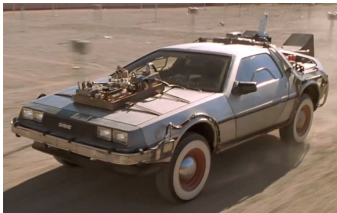
- Abstraction

- ▶ Présenter une interface propre et simplifiée
- ▶ Cacher les détails inutiles aux utilisateurs de la classe (e.g., les détails d'implémentation)
 - ★ En général, ils ne se soucient pas de ces détails
 - ★ Mieux vaut qu'ils se concentrent sur le problème qu'ils sont en train de résoudre

- Encapsulation

- ▶ Permettre à un objet de protéger son état interne des accès externes et des modifications
- ▶ L'objet contrôle lui-même tous les changements d'état interne
 - ★ En déclarant l'état `private`, il ne pourra être modifié que *via* les méthodes `public`
 - ★ Les méthodes garantissent les changements d'état valides (contrôle de la cohérence)

4 images, 1 mot



Quelles caractéristiques ? Quels comportements ?

Exemple : Car.java

```
public class Car {  
    private String make;  
    private String model;  
    private String numberPlate;  
    private short speed;  
    private int nbMiles;  
    ...  
  
    public void start() {...}  
    public void stop() {...}  
    public void move(short s) {...}  
    public boolean isMoving() {...}  
    ...  
}
```

- Variables d'instance
 - ▶ Déclarées en début de classe
 - ▶ En dehors de toute méthode
 - ▶ Non publiques
- Méthodes d'instance

Exemple : Car.java

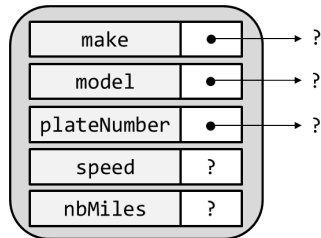
```

public class Car {
    private String make;
    private String model;
    private String numberPlate;
    private short speed;
    private int nbMiles;
    ...

    public void start() {...}
    public void stop() {...}
    public void move(short s) {...}
    public boolean isMoving() {...}
    ...
}

```

- Variables d'instance
 - ▶ Déclarées en début de classe
 - ▶ En dehors de toute méthode
 - ▶ Non publiques
- Méthodes d'instance



Méthodes spéciales : les constructeurs

- Créent de nouvelles instances d'une classe
 - ▶ Initialisent toutes les variables d'instance de manière cohérente
- Portent le nom de la classe
- Peuvent prendre des arguments, mais ce n'est pas obligatoire
- N'ont pas de type de retour (pas même `void`)
- Toutes les classes ont au moins un constructeur
 - ▶ Par défaut (si aucun constructeur n'est défini), la classe a un constructeur sans paramètre qui ne fait rien
- Pas de destructeur en Java !
 - ▶ Ramasse-miettes (*garbage collector*)

Exemple : Car.java

```
public class Car {  
    private String make;  
    private String model;  
    private String numberPlate;  
    private short speed;  
    private int nbMiles;  
    public Car(String mk, String mdl, String np) {  
        make = mk;  
        model = mdl;  
        numberPlate = np;  
        speed = 0;  
        nbMiles = 0;  
    }  
    public Car(String mk, String mdl) {  
        this(mk, mdl, ""); // Chainage de constructeurs  
    }  
    ...  
}
```

Méthodes spéciales : les accesseurs en lecture et en écriture

- Accesseurs en lecture (*accessors/getters*)
 - ▶ Permettent de récupérer les données internes (*i.e.*, l'état de l'objet)
 - ▶ Permettent de contrôler comment les données sont exposées
- Accesseur en écriture (*mutators/setters*)
 - ▶ Permettent de modifier les données internes (*i.e.*, l'état de l'objet)
 - ▶ Permettent de contrôler comment et quand des modifications peuvent être effectuées
- Les classes n'ont pas toutes des accesseurs en lecture et en écriture

Exemple : Car.java

```
public class Car {  
    private String make;  
    private String model;  
    private String numberPlate;  
    private short speed;  
    private int nbMiles;  
    ...  
    // Accesseurs en lecture  
    public String getMake() { return make; }  
    public String getModel() { return model; }  
    ...  
    // Accesseurs en ecriture  
    public void setNumberPlate(String np) { numberPlate = np; }  
    public void setSpeed(short s) {  
        speed = (s >= 0) ? s : 0;  
    }  
    ...  
}
```

Convention de nommage des accesseurs

- Les accesseurs en écriture commencent généralement par set
 - ▶ `void setNumberPlate(String)`
 - ▶ `void setSpeed(short)`
- Les accesseurs en lecture commencent généralement par get
 - ▶ `String getMake()`
 - ▶ `String getModel()`
- Les accesseurs en lecture qui retournent un booléen commencent souvent par is
 - ▶ `boolean isStarted()`
 - ▶ `boolean isMoving()`
- Des exceptions sont autorisées lorsque is n'a pas de sens
 - ▶ `boolean contains(Occupant)`
 - ▶ `boolean intersects(Object)`

S'affranchir de la représentation mémoire

- Variables d'instance `private`
- Les constructeurs accèdent directement aux variables d'instance
- Les accesseurs accèdent directement aux variables d'instance
- Les autres méthodes (appelées services) utilisent les accesseurs pour accéder (indirectement) à l'état de l'objet
 - ▶ Elles demeurent correctes lors d'un changement de représentation mémoire

```
public class Car {  
    ...  
    public void move(short s) {  
        setSpeed(s);  
        ...  
    }  
    public boolean isMoving() { return getSpeed() > 0; }  
    ...  
}
```

Utiliser un objet

- Créer un nouvel objet en utilisant l'opérateur `new`

```
Car c0 = new Car(); // erreur  
Car c1 = new Car("DeLorean", "DMC-12", "OUTATIME");  
Car c2 = new Car("Volkswagen", "Coccinelle");
```

- Faire appel aux méthodes de l'objet

```
c1.move(88);  
System.out.println("c1 est une " + c1.getMake() + "  
    + c1.getModel() + " et roule à " + c1.getSpeed()  
    + " miles à l'heure");
```

Objets et références

- Qu'est-ce que c1 et c2 ?
 - ▶ Ce sont des références à des objets Car
 - ▶ Ce ne sont pas les objets eux-mêmes

- Jongle de références :

```
Car c3 = c1; // Il n'y a toujours que deux objets  
c1 = null; // Les deux objets sont encore accessibles  
c2 = null; // Un des objets n'est plus accessible
```

- La JVM suit les objets qui ne sont plus accessibles
 - ▶ Si un objet n'est désigné par aucune référence, le ramasse-miettes libère l'espace qu'il occupe

Constructeurs par recopie

- Copie superficielle

- ▶ L'objet initialisé partage potentiellement des données avec un autre

```
private Engine engine;  
public Car(Car c) {  
    ...  
    engine = c.engine;  
}
```

- Copie profonde

- ▶ L'objet initialisé a sa propre copie de l'information, indépendante de tout autre objet

```
private Engine engine;  
public Car(Car c) {  
    ...  
    engine = new Engine(c.engine.getXXX(), ...);  
}
```

Arguments objet d'une méthode

- Que se passe-t-il lorsque un objet est passé en paramètre d'une méthode ?
 - ▶ Exemple : `public static void foo(Car c)`
- Pour rappel, `c` est une référence à l'objet
- La référence est copiée dans `c`, mais pas l'objet `Car` auquel il réfère
 - ▶ Passage par copie de la référence
 - ▶ Les variables de type primitif sont quant à elles passées par valeur
- Des effets de bord et des erreurs peuvent alors facilement arriver !

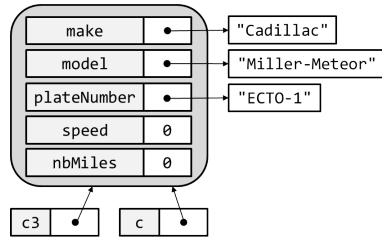
Passer des objets (1)

```

public static void foo(Car c) {
    System.out.println("Plaque: "
        + c.getNumberPlate());
    c.setNumberPlate("ECTO-2"); //??
}

public static void main(String[] a) {
    Car c3 = new Car("Cadillac",
        "Miller-Meteor", "ECTO-1");
    foo(c3);
}

```



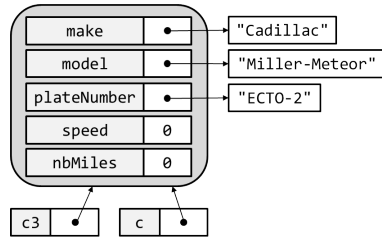
Passer des objets (2)

```

public static void foo(Car c) {
    System.out.println("Plaque: "
        + c.getNumberPlate());
    c.setNumberPlate("ECTO-2");
    c = null; //??
}

public static void main(String[] a) {
    Car c3 = new Car("Cadillac",
        "Miller-Meteor", "ECTO-1");
    foo(c3);
}

```



Passer des objets (3)

```

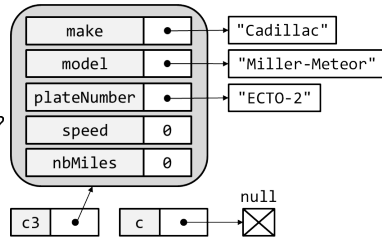
public static void foo(Car c) {
    System.out.println("Plaque: "
        + c.getNumberPlate());
    c.setNumberPlate("ECTO-2");
    c = null;
    c = new Car("Ford", "Explorer"); //??
}

```

```

public static void main(String[] a) {
    Car c3 = new Car("Cadillac",
        "Miller-Meteor", "ECTO-1");
    foo(c3);
}

```



Passer des objets (4)

```

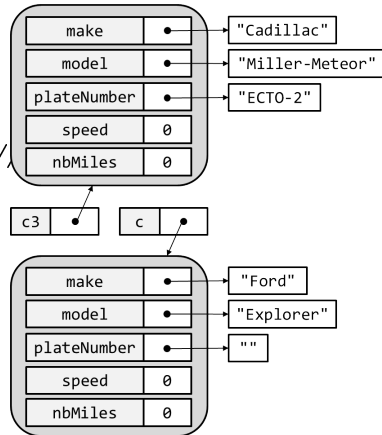
public static void foo(Car c) {
    System.out.println("Plaque: "
        + c.getNumberPlate());
    c.setNumberPlate("ECTO-2");
    c = null;
    c = new Car("Ford", "Explorer");
    c.setNumberPlate("Jurassic Park");
}

```

```

public static void main(String[] a) {
    Car c3 = new Car("Cadillac",
        "Miller-Meteor", "ECTO-1");
    foo(c3);
}

```



Passer des objets (5)

```

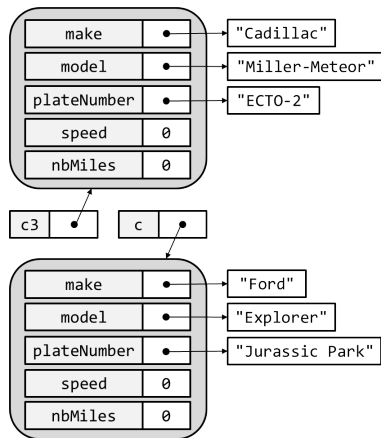
public static void foo(Car c) {
    System.out.println("Plaque: "
        + c.getNumberPlate());
    c.setNumberPlate("ECTO-2");
    c = null;
    c = new Car("Ford", "Explorer");
    c.setNumberPlate("Jurassic Park");
}

```

```

public static void main(String[] a) {
    Car c3 = new Car("Cadillac",
        "Miller-Meteor", "ECTO-1");
    foo(c3);
}

```



Moralité

- Il faut être très prudent avec les références d'objet
 - ▶ Si une méthode modifie accidentellement un objet, cela peut être très difficile à retrouver
- Une solution : rendre les objets immuables
 - ▶ Java n'a pas d'équivalent au mot clé `const` de C++
 - ▶ Un objet est immuable s'il ne fournit pas d'accessor en écriture
 - ★ Définir l'état de l'objet à sa construction
 - ★ Ne fournir aucun moyen de modifier l'état

Mot clé `this` (1)

- Les méthodes d'instance ont un paramètre implicite `this` qui est une référence à l'objet sur lequel elles sont appelées (*i.e.*, l'objet receveur)
- À ne pas confondre avec `this(...)` qui permet l'appel d'un autre constructeur de la même classe (chaînage de constructeurs)
- Est implicitement utilisé lorsque les attributs ou les méthodes d'instance sont accédés à l'intérieur d'une autre méthode

```
public short getSpeed() {  
    return speed; // Identique à "return this.speed;"  
}  
public void move(short s) {  
    setSpeed(s); // Identique à "this.setSpeed(s)"  
    ...  
}
```

Mot clé `this` (2)

- Permet de résoudre des ambiguïtés
 - ▶ Par exemple, si le nom d'un paramètre est le même que celui d'un attribut
 - ★ Ce qui est généralement le cas dans les constructeurs ou encore les accesseurs en écriture
 - ▶ En général, il faut éviter les ambiguïtés inutiles qui peuvent mener à des erreurs très subtiles...

```
void setNumberPlate(String numberPlate) {  
    // numberPlate est le parametre  
    // this.numberPlate est l'attribut de l'objet  
    this.numberPlate = numberPlate;  
}
```

Méthodes statiques

- Aussi appelées méthodes de classe
- Sont appelées sur la classe
 - ▶ Par exemple, la classe `Math` de Java a uniquement des méthodes statiques

```
public static double atan2(double y, double x);  
double tangent = Math.atan2(yComp, xComp);
```

- Ne nécessitent pas une instance particulière pour être appelées
 - ▶ Ne peuvent donc pas utiliser la référence `this`

Attributs statiques

- Aussi appelées variables de classe
- Servent à représenter des données générales qui ne sont pas liées à une instance particulière
 - ▶ Un seul exemplaire est stocké au niveau de la classe
 - ▶ Pas de duplication pour chaque instance
- Sont accédés en préfixant avec le nom de la classe
 - ▶ `System.out`

Console Java : entrées/sorties

- `System.out` est le flot de sortie standard
 - ▶ `System.out.println(...)` va à la ligne
 - ▶ `System.out.print(...)` reste sur la même ligne
- `System.err` est le flot d'erreur standard
 - ▶ À utiliser pour signaler des erreurs
- `System.in` est le flot d'entrée standard

```
Scanner sc = new Scanner(System.in);  
String word = sc.next();  
String line = sc.nextLine();  
int i = sc.nextInt();  
double d = sc.nextDouble();  
boolean b = sc.nextBoolean();
```

System.out.println()

- Accepte différents types de paramètre :
 - ▶ `System.out.println(String x)`
 - ▶ `System.out.println(boolean x)`
 - ▶ `System.out.println(char x)`
 - ▶ `System.out.println(float x)`
 - ▶ `System.out.println(int x)`
 - ▶ `System.out.println(Object x)`
 - ★ Fait appel à la méthode `toString()` de la classe `Object`
 - ▶ `System.out.println()`
 - ▶ Et quelques-unes de plus...
- Ce sont des méthodes surchargées
 - ▶ Même nom, mais signature différente

Méthode toString()

- Est automatiquement appelée lorsqu'un objet doit être converti en chaîne de caractères (String)
 - ▶ Par exemple, dans une concaténation de chaîne de caractères :
 - ★ `String msg = "La voiture est une " + c;` est automatiquement traduit par le compilateur comme `String msg = "La voiture est une " + c.toString();`
- Par défaut, toutes les classes ont une méthode `toString()` qui retourne une chaîne de caractères correspondant à l'adresse de l'objet
 - ▶ Héritée de la classe `Object` (cf. héritage)
 - ▶ Par exemple, si elle n'est pas redéfinie dans la classe `Car`, `c.toString()` retournera `"Car@e22a17"`
- Prendre l'habitude de la redéfinir

@Override

```
public String toString() {
    return this.getMake() + " " + this.getModel()
        + " immatriculée " + this.getNumberPlate();
}
```

Égalité

- Pour les types primitifs, `==` compare leur valeur
- Pour les types référence, `==` compare les références elles-mêmes (*i.e.*, si elles désignent le même objet) !

```
Car c1 = new Car("Chevrolet", "Camaro");  
Car c2 = new Car("Chevrolet", "Camaro");  
Car c3 = c1;
```

- ▶ Les voitures `c1` et `c3` sont les mêmes objets

- ★ `c1 == c3` est vrai

- ★ `c1 == c2` est faux, même si les valeurs sont les mêmes

- Utiliser la méthode `equals(Object)` pour tester l'égalité de deux objets d'un point de vue sémantique

Méthode equals(Object)

```
@Override  
public boolean equals(Object obj) {  
    return ...;  
}
```

- Retourne vrai si obj est "égal à" l'objet this
 - ▶ Dépend de ce que la classe représente
 - ▶ Si obj est null, la réponse est toujours faux
- Noter que obj est une référence à un objet générique Object
 - ▶ Pourquoi ?
 - ▶ Il pourrait être de n'importe quel type référence !
 - ▶ L'opérateur instanceof permet de vérifier cela
- Par défaut, toutes les classes ont une méthode equals(Object) dont le comportement est équivalent à celui de ==
 - ▶ Héritée de la classe Object (cf. héritage)
- Prendre l'habitude de la redéfinir en fournissant une implémentation raisonnable

Est-ce que la méthode `equals(Object)` a du sens ?

- Réflexive
 - ▶ `a.equals(a)` doit retourner vrai
- Symétrique
 - ▶ `a.equals(b)` doit être identique à `b.equals(a)`
 - ▶ Ceci peut être compliqué parfois...
- Transitive
 - ▶ Si `a.equals(b)` est vrai et `b.equals(c)` est vrai alors `a.equals(c)` doit aussi être vrai
- Nullité
 - ▶ `a.equals(null)` doit être faux

Opérateur instanceof

- Permet de tester le type d'un objet (*i.e.*, sa classe)
- Retourne faux si la référence est null
 - ▶ Il n'est donc pas nécessaire de vérifier si le paramètre `obj` de la méthode `equals(Object)` est null

Égalité entre deux voitures

@Override

```
public boolean equals(Object obj) {  
    // obj est de type Car ?  
    // Si non, obj.getMake() est interdit  
    if (obj instanceof Car) {  
        // Cast vers le type Car, puis compare  
        Car c = (Car) obj;  
        if (this.getMake().equals(c.getMake())  
            && this.getModel().equals(c.getModel())) {  
            return true;  
        }  
    }  
    return false;  
}
```

Tableaux

- En Java, les tableaux sont aussi des objets

- ▶ Bien qu'ils aient une syntaxe différente

```
// Alloue un tableau pour 10 entiers  
int[] tab = new int[10];  
for (int i = 0; i < tab.length; i++) {  
    tab[i] = 100 * i; // Stocke des entiers dedans  
}
```

- Les tableaux sont tous alloués dynamiquement
- Les tableaux ont un attribut `length`, désignant leur taille
 - ▶ `length` est (bien entendu) en lecture seule
- Les éléments d'un tableau sont accessibles en utilisant des crochets `[index]` (comme en C/C++)
 - ▶ `index` doit être compris entre 0 et `length-1`, sinon provoque une erreur

Déclarer un tableau

- Les variables tableau sont déclarées avec des crochets après leur type, non après leur nom
 - ▶ `String[] names;` vs `String names[];`
 - ▶ La dernière forme est tout de même acceptée, mais est déconseillée
- Elles peuvent être déclarées sans être initialisées
 - ▶ `boolean[] flags; // Tableau de booléens`
- Elles doivent être initialisées avant utilisation

Initialiser un tableau

- Allouer un nouveau tableau avec `new type[size]` où *size* est la taille du tableau (*i.e.*, son nombre d'éléments) et *type* est le type des éléments du tableau
 - ▶ *size* peut être égal à zéro : tableau vide
- Assigner un tableau existant
 - ▶ Les tableaux sont essentiellement des objets avec de la syntaxe supplémentaire
- Définir à `null`
- Assigner des valeurs spécifiques

```
String[] colors = {"vert", "bleu", "jaune", "violet"};  
// colors.length == 4
```

- ▶ Sucre syntaxique pour les opérations d'initialisation
- ▶ De tels tableaux peuvent toujours être réassignés et réinitialisés
 - ★ `colors` est une référence à un tableau d'objets de type `String`

Tableaux d'objets

- Contiennent initialement des valeurs `null`
 - ▶ L'initialisation d'un tableau n'initialise pas les références-objet
 - ▶ Cela doit être fait dans une étape à part
- Exemple :

```
// Alloue un tableau de 15 references-voiture  
Car[] cars = new Car[15];
```

```
// Cree un nouvel objet Car pour chaque element  
for (int i = 0; i < cars.length; i++)  
    cars[i] = new Car(...);
```

Tableaux de tableaux (1)

- Les tableaux peuvent contenir d'autres tableaux

```
int [][] matrix; // Array of arrays of ints  
matrix = new int[20][];  
for (int i = 0; i < matrix.length; i++)  
    matrix[i] = new int[50];
```

- ▶ D'abord, le tableau de tableaux est alloué
 - ★ Chaque élément de `matrix` est de type `int[]`
- ▶ Ensuite, chaque sous-tableau est alloué

- Pour les tableaux à deux dimensions, Java fournit un raccourci

```
int [][] matrix = new int[20][50]; // Meme chose !
```

Tableaux de tableaux (2)

- Les sous-tableaux peuvent être de tailles différentes

```
int [][] reducedMatrix;  
reducedMatrix = new int[20][];  
for (int i = 1; i <= reducedMatrix.length; i++)  
    reducedMatrix[i-1] = new int[i];
```

► Impossible de faire la même chose avec la syntaxe raccourci

- Ils peuvent aussi être spécifiés avec des valeurs initiales nichées

```
int [][] reducedMatrix = {{1, 2, 3}, {4, 5}, null, {6}};
```

Copier un tableau

- Utiliser `System.arraycopy(...)` pour copier un tableau dans un autre efficacement
- Utiliser la méthode `clone()` pour dupliquer un tableau

```
int[] nums = new int[33];
```

```
...
```

```
int[] numsCopy = (int[]) nums.clone();
```

- ▶ Le type de retour de la méthode est `Object`
 - ★ Le résultat doit être casté dans le bon type
- ▶ La copie est superficielle, seul le tableau de plus haut niveau est copié!
 - ★ Si c'est un tableau d'objets, les objets ne sont pas clonés
 - ★ Si c'est un tableau de tableaux, les sous-tableaux ne sont pas non plus clonés

Types énumérés

- Un type énuméré est une classe qui représente un ensemble prédéfini et fixe de constantes
 - ▶ Ces constantes sont en fait des instances de la classe
- Il est défini en utilisant le mot clé `enum`

```
public enum Fuel {  
    GASOLINE, DIESEL, LPG; // constantes en majuscules  
}
```

- Les valeurs du type sont ces constantes (*i.e.*, des objets de la classe créée)

```
Fuel f = Fuel.DIESEL;
```

- ▶ `Fuel` est une classe qui n' a (et n'aura) que 3 instances
- ▶ `Fuel.DIESEL` désigne l'une des instances de `Fuel`

Méthodes d'un type énuméré E

- Le compilateur ajoute automatiquement certaines méthodes au type énuméré créé
- Méthodes d'instance
 - ▶ `String name()` retourne la chaîne de caractères correspondant au nom de l'objet receveur (sans le nom du type)
 - ★ `f.name()` retourne la chaîne de caractères "DIESEL"
 - ▶ `int ordinal()` retourne l'indice de l'objet receveur dans l'ordre de déclaration du type énuméré (à partir de 0)
 - ★ `f.ordinal()` retourne 1
- Méthodes de classe
 - ▶ `static E valueOf(String s)` retourne, si elle existe, l'instance dont la référence (sans le nom du type) correspond à la chaîne s
 - ★ `Fuel.valueOf("LPG")` retourne une référence à l'objet `Fuel.LPG`
 - ▶ `static E[] values()` retourne le tableau des valeurs du type dans leur ordre de déclaration
 - ★ `Fuel.values()` retourne le tableau { `Fuel.GASOLINE`, `Fuel.DIESEL`, `Fuel.LPG` }

Égalités des types énumérés

- Pour un objet `e` d'un type énuméré `E` :
 - ▶ `E.valueOf(e.name()) == e`
 - ▶ `E.values()[e.ordinal()] == e`
- Utiliser `==` pour tester l'égalité de valeurs entre deux références d'un même type énuméré
 - ▶ Pourquoi ?

Classe générée par le compilateur

```

public class Fuel {
    private String name;
    private int index;
    private Fuel(String theName, int idx) {
        this.name = theName;
        this.index = idx;
    }
    public static final Fuel GASOLINE = new Fuel("GASOLINE", 0);
    public static final Fuel DIESEL = new Fuel("DIESEL", 1);
    public static final Fuel LPG = new Fuel("LPG", 2);
    public String name() { return this.name; }
    public int ordinal () { return this.index; }
    public static Fuel[] values() {
        return { Fuel.GASOLINE, Fuel.DIESEL, Fuel.LPG };
    }
    public static Fuel valueOf(String s) { // grosso modo
        if (s.equals("GASOLINE")) { return Fuel.GASOLINE; }
        else if ... // idem pour DIESEL et LPG
    }
}

```

Type énuméré et switch

```
Fuel fuel = ...;  
switch (fuel) {  
    case GASOLINE:  
        ...  
    case DIESEL:  
        ...  
    case LPG:  
        ...  
    default :  
        ...  
}
```

Exemple : Fuel.java

- Beaucoup plus puissant que les types énumérés d'autres langages
 - ▶ Possibilité d'inclure des constructeurs, méthodes et autres attributs

```

public enum Fuel {
    GASOLINE (43.8), DIESEL (42.5), LPG (46.1);
    private final double heatingValue; // en MJ/kg
    private Fuel(double heatingValue) {
        this.heatingValue = heatingValue;
    }
    public double getHeatingValue() {
        return this.heatingValue;
    }
}

...
for(Fuel f : Fuel.values())
    System.out.println(f.name() + ":␣" +
        f.getHeatingValue());

```

Packages (paquetages en français)

- Sont une collection de types liés
- Permettent de regrouper des classes
 - ▶ C'est optionnel, mais généralement très utile!
- Forment une hiérarchie
 - ▶ `package1.package2.package3`
- Fournissent une gestion de l'espace de noms (*namespace*)
 - ▶ Deux classes du même *package* ne peuvent pas avoir le même nom
 - ▶ Autrement dit, des classes peuvent avoir le même nom si elles sont dans des *packages* différents
- Par défaut, une classe est dans le "*default package*"
 - ▶ *Default package* n'a pas de nom!
 - ▶ Prendre l'habitude de créer un nouveau *package*
- Utiliser le mot clé `package` pour spécifier un *package* différent
 - ▶ `package car;`
 - ▶ Doit être la première instruction dans le fichier `.java`
 - ▶ Détermine où les fichiers `.java` et `.class` doivent être placés

Utiliser une classe d'un *package*

- Trois possibilités :

- ▶ Faire référence à la classe avec le nom qualifié (évite les conflits de noms)

```
java.util.Date d1 = new java.util.Date();  
java.sql.Date d2 = new java.sql.Date(...);
```

- ▶ Importer la classe elle-même

```
import java.util.Date;  
...  
Date date = new Date();
```

- ▶ Importer le *package* entier

```
import java.util.*;  
...  
Date date = new Date();
```


import static

- Permet d'alléger le code pour l'utilisation des variables et des méthodes statiques d'une classe

```
import static java.lang.Math.*;
```

```
...
```

```
x = max(sqrt(abs(y)), sin(y)); // au lieu de Math.max..
```

- À utiliser avec précaution car il peut être plus difficile de savoir d'où vient une variable ou une méthode de classe

Packages et API Java

- Toutes les classes de l'API Java sont dans des *packages*
- Les classes dans `java.lang` sont automatiquement importées
 - ▶ Pas besoin d'importer explicitement le contenu de `java.lang`
- Pour importer des classes Java qui ne sont pas dans le *package* `java.lang` :

```
import java.util.ArrayList;
```

```
import java.util.HashSet;
```

```
...
```

OU

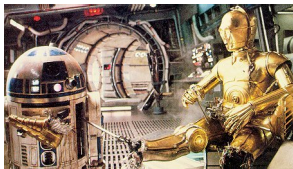
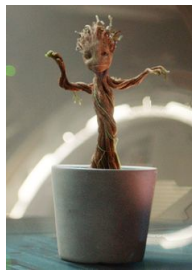
```
import java.util.*;
```

- L'importation d'un *package* n'est pas récursive !
 - ▶ Importer `java.*` ne mènera nulle part

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces**
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques

4 images, 1 mot



Réparation

- Voitures, montres, droïdes et Groot sont des "objets" différents, ayant des comportements différents
 - ▶ Faire le plein d'une voiture, remonter une montre, *etc.*
- Mais ils sont tous réparables (même si les processus sont différents)
- D'un point de vue programmation objet, Car, Watch, Droid et Alien sont des classes d'objets différentes, proposant des fonctionnalités (méthodes) différentes
 - ▶ `fillUp()` pour Car, `wind()` pour Watch, *etc.*
- Mais elles proposent toutes `repair()`
 - ▶ Avec un traitement propre à chacune

Problème

```
T[] repairs = new T[2]; // objets réparables
repairs[0] = new Car(...);
repairs[1] = new Watch(...);
for (int i = 0; i < repairs.length; i++) {
    repairs[i].repair();
}
```

- Quel est le type T des éléments du tableau repairs?
 - ▶ T accepte la méthode repair()
 - ▶ Le tableau doit pouvoir contenir à la fois des voitures, des montres, etc.

Très mauvaise solution

```
Object[] repairs = new Object[2]; // objets réparables
repairs[0] = new Car(...);
repairs[1] = new Watch(...);
for (int i = 0; i < repairs.length; i++) {
    if (repairs[i] instanceof Car) {
        ((Car) repairs[i]).repair();
    } else if (repairs[i] instanceof Watch) {
        ((Watch) repairs[i]).repair();
    } else if ...
}
```

Solution

- Conserver les différentes classes : Car, Watch, *etc.*
 - ▶ Le processus de réparation est propre à chaque classe
 - ▶ L'implémentation de `repair()` est donc différente dans chaque classe
- Créer un type commun
 - ▶ Il faut pouvoir traiter les objets sans les différencier par leur classe
 - ▶ Il faut pouvoir considérer leurs instances comme des objets du type "est réparable", c'est-à-dire "accepte la méthode `repair()`"
 - ★ Ne considérer qu'une "facette" de l'objet indépendamment des autres
 - ★ Réaliser une "projection" de l'objet sur ce type
 - ★ "multi-typage" des objets = polymorphisme des objets

Interfaces

- Une interface déclare un ensemble de signatures de méthodes publiques (comportements), sans corps
 - ▶ Elle déclare uniquement des comportements, mais ne les définit pas
 - ▶ Elle ne contient ni implémentation de méthode, ni variable d'instance
- Une classe implémente (ou réalise) une interface afin de signifier qu'elle fournit cet ensemble de comportements (contrat à respecter)
 - ▶ Elle doit définir un comportement pour chacune des méthodes déclarées dans l'interface
 - ▶ Les instances de la classe pourront être vues et manipulées comme étant du type de l'interface
- Les interfaces sont donc des types de données abstraits, vus uniquement au travers de ses méthodes
 - ▶ Pas de constructeur
 - ▶ Versus les classes = types concrets

Déclarer des interfaces

- Les interfaces sont déclarées comme des classes, mais en utilisant le mot clé `interface`

```
public interface Reparable {  
    void repair();  
    ...  
}
```

- Fichier `Reparable.java`
- Pas de modificateur d'accès de méthode
 - ▶ L'accès est publique!

Implémenter des interfaces

- Les classes peuvent implémenter des interfaces en utilisant le mot clé `implements`
- Lorsqu'une classe implémente une interface, elle doit déclarer les méthodes comme `public`

```
public class Car implements Reparable {  
    ...  
    @Override  
    public void repair() {  
        ...  
    }  
}
```

- N'importe qui peut appeler l'implémentation de la classe de l'interface, puisque qu'elle est publique

Interfaces et classes

- Une classe peut implémenter plusieurs interfaces

```
public class Car implements Reparable, Vehicle { ... }
```

- ▶ C'est une version plus simple et plus propre de l'héritage multiple
 - ▶ En Java, il n'y a pas d'héritage multiple de classes
 - ▶ Quels sont les types possibles pour une instance de Car ?
- Les interfaces ne peuvent pas être instanciées (pas de constructeur)
 - ▶ Elles doivent être implémentées par une classe, et ensuite la classe est instanciée
- Les variables peuvent être d'un type interface, tout comme elles peuvent être d'un type classe

```
Reparable[] repairs = new Reparable[2];
repairs[0] = new Car(...); // projection des instances
repairs[1] = new Watch(...); // sur le type Reparable
for (int i = 0; i < repairs.length; i++)
    repairs[i].repair(); // meme signature de methode
                        // mais traitements differents
```

Utiliser des interfaces (1)

- Les interfaces peuvent exprimer des propriétés (en termes de services fournis) que les types ont
 - ▶ L'interface `Reparable` exprime la propriété qu'un objet "est réparable"
- Souvent, il y a des situations où :
 - ▶ Il y a un unique et bien défini ensemble de comportements
 - ▶ Mais avec beaucoup d'implémentations différentes possibles
- Les interfaces permettent de découpler les composants du programme
 - ▶ En particulier, lorsqu'un composant peut être implémenté de multiples façons
 - ▶ Les autres composants interagissent avec le type interface général, et pas avec des implémentations spécifiques

Utiliser des interfaces (2)

- Exemple :

```
public interface Vehicle {  
    void move(short speed);  
    void turn(Direction direction);  
    boolean isMoving();  
    ...  
}
```

- Fournir de multiples implémentations

```
public class Car implements Vehicle { ... }  
public class Motorcycle implements Vehicle { ... }
```

- Écrire du code pour une interface, pas pour des implémentations

```
public static void simulation(Vehicle v) {  
    v.move(88);  
    v.turn(Direction.LEFT);  
    ...  
}
```

Utiliser des interfaces (3)

- Pouvoir changer les détails d'implémentation si nécessaire
 - ▶ Aussi longtemps que la définition de l'interface reste la même
- Si l'implémentation de l'interface est importante et complexe :
 - ▶ Un autre code peut utiliser une implémentation temporaire de l'interface, jusqu'à ce que la version complète soit terminée

```
public class FakeVehicule implements Vehicule {  
    public void move(short speed) {  
        // Ne fait rien  
    }  
    public boolean isMoving() {  
        return false;  
    }  
    ...  
}
```

- ▶ Le développement de composants dépendants peut être fait en parallèle

Polymorphisme

Concept clé de la programmation objet

- Les interfaces et l'héritage permettent d'écrire du code polymorphe, pouvant être utilisé avec différents types
- C'est ce qui différencie la programmation objet de la programmation impérative et modulaire

```
Reparable r;
if ((int)(Math.random()*2)%2 == 0) {
    r = new Car (...);
} else {
    r = new Watch (...);
}
r.repair();
```

- ▶ Quel code sera exécuté lors de l'appel `r.repair()` ?
 - ★ Impossible de savoir à la compilation quel objet désignera `r`
 - ★ La méthode `repair()` appelée est *a priori* non connue
- ▶ Ce code compile et le résultat dépend de `(int)(Math.random()*2)%2`
- ▶ Comment la bonne méthode `repair()` est-elle appelée ?

Type statique et type dynamique

- Le type statique d'une référence correspond à celui de sa déclaration
 - ▶ Il définit les appels de méthodes autorisés
 - ▶ Il est connu dès la compilation
- Le type dynamique d'une référence correspond au type de l'objet référencé (lequel peut évoluer au cours de l'exécution)
 - ▶ Il définit le traitement exécuté
 - ▶ Il n'est connu qu'à l'exécution

```
Reparable r;  
if ((int)(Math.random()*2)%2 == 0) {  
    r = new Car (...);  
    r.move(88); // erreur !  
} else {  
    r = new Watch (...);  
}  
r.repair();
```

Liaison tardive

- Liaison anticipée (*early binding*)
 - ▶ Le compilateur génère un appel à une fonction en particulier et le code à exécuter est précisément déterminé lors de l'édition de liens à la compilation
- Liaison tardive (*late binding*)
 - ▶ Le code à exécuter lors de l'appel d'une méthode sur un objet n'est déterminé qu'à l'exécution
- Résolution du choix de la méthode à appeler
 - 1 Le compilateur détermine la signature de méthode à rechercher en se fondant sur les types statiques des références
 - ★ Il vérifie seulement la validité de l'appel
 - 2 Mais ce n'est qu'à l'exécution que le code à exécuter est recherché dans la classe du type dynamique de l'objet receveur

Transtypage (*Cast*)

- Une référence n'a qu'un seul type, un objet peut en avoir plusieurs
 - ▶ Objets polymorphes
 - ★ Les objets sont des instances d'une classe, donc du type de cette classe, mais aussi du type de chacune des interfaces implémentée par la classe
 - ★ Différents points de vue possibles (facettes) sur un même objet
- Caster/transtyper
 - ▶ Conversion explicite d'une donnée dans un autre type
 - ▶ À partir d'une référence sur un objet, en créer une autre d'un autre type, vers le même objet
- Généralisation (*upcast*) : changer vers une classe moins spécifique (toujours possible vers `Object`)
 - ▶ Naturelle et implicite
 - ▶ Vérifiée à la compilation
 - ▶ Sûre
- Spécialisation (*downcast*) : changer vers une classe plus spécifique
 - ▶ Explicite
 - ▶ Vérifiée à l'exécution
 - ▶ À risque

Illustration

```
Reparable[] repairs = new Reparable[2];
repairs[0] = new Car(...);    // upcast implicite
repairs[1] = new Watch(...); // Car/Watch -> Reparable
for (int i = 0; i < repairs.length; i++)
    ((Car) repairs[i]).repair(); // downcast explicite
                                // Reparable -> Car
                                // erreur a l'execution qd i=1
```

Étendre des interfaces

- Une interface peut être étendue en utilisant le mot clé `extends`

```
public interface Spacecraft extends Vehicle {  
    void travelThroughHyperspace (...);  
    ...  
}
```

- ▶ Cette interface hérite de toutes les déclarations de méthodes de `Vehicle`
- ▶ Encore une fois, elles sont toutes publiques

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage**
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques

Concevoir du logiciel réutilisable

- C'est une des préoccupations majeures des programmeurs
- Pour faciliter le développement logiciel et augmenter la productivité
 - ▶ Ne pas refaire ce qui a déjà été fait (souvent de manière efficace)
 - ★ API et bibliothèques de composants logiciels existantes
 - ▶ Diminuer les sources d'erreurs
 - ★ Les API et les bibliothèques ont été *a priori* maintes fois éprouvées

Réutiliser un type

- Définir un comportement propre à son contexte d'utilisation, tout en respectant des interfaces prédéfinies, et ainsi s'insérer dans un cadre préétabli (*framework*)
- En Java : utilisation des interfaces

Réutiliser un comportement

- Définir un attribut de la classe dont on veut récupérer le comportement (association/agrégation/composition)
- Définir des méthodes correspondant aux comportements que l'on veut récupérer (réutilisation partielle), en les ajustant à leur contexte
 - ▶ Le corps de ces méthodes consiste en un appel des méthodes de l'attribut (délégation) avec une adaptation éventuelle

```
public class Car {  
    private Wheel[] wheels;  
    ...  
    public void brake() {  
        for (Wheel w : this.wheels) {  
            w.brake();  
        }  
    }  
}
```

Association, agrégation, composition, dépendance

- Association

- ▶ Lien structurel entre deux classes
 - ★ Possède une référence vers
- ▶ Les deux classes ont le même niveau conceptuel
 - ★ Aucune n'étant plus importante que l'autre
- ▶ Relation "connaît"

- Agrégation

- ▶ Association entre une classe composite (*i.e.*, le tout) et une classe agrégée (*i.e.*, la partie)
- ▶ Relation "a un"

- Composition

- ▶ Agrégation forte dans laquelle la partie ne se conçoit pas sans son tout et où une partie ne peut figurer que dans un seul objet composite

- Dépendance

- ▶ Une méthode d'une classe prend en paramètre des objets d'une autre classe

Réutiliser un type vs réutiliser un comportement

- Réutiliser un type

- ▶ Conformité de type de la classe créée
- ▶ Polymorphisme
- ▶ Mais obligation de récrire pour chaque classe implémentant l'interface le code de toutes les méthodes, y compris si celui-ci est le même pour plusieurs classes
 - ★ Duplication de code
 - ★ Gênant dans le cas de modifications qu'il faudra reporter plusieurs fois

- Réutiliser un comportement

- ▶ Pas besoin de récrire le code des méthodes
- ▶ Mais pas de compatibilité de type et donc pas de polymorphisme
 - ★ Les instances de la classe créée ne sont pas du type de la classe de l'attribut

Factorisation de code?

```

class Car implements Vehicle {
    private Engine engine;
    ...
    public void start() {
        this.engine.start();
    }
    ...
    public void turn(Direction d) {
        ... // traitement
    }
}

```

```

class Motorcycle implements Vehicle {
    private Engine engine;
    ...
    public void start() {
        this.engine.start();
    }
    ...
    public void turn(Direction d) {
        ... // traitement different
    }
}

```

- Attributs et code répétés
- Mais la méthode `turn` est différente pour les deux classes
- Comment concilier la factorisation de code et les différences?

Héritage de classe (1)

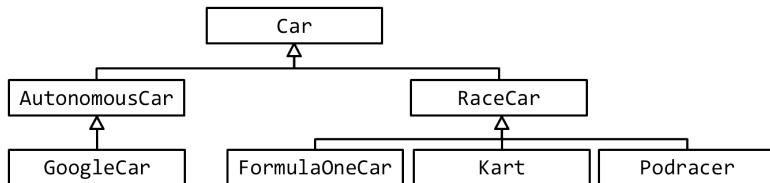
- Une classe peut étendre une autre classe en utilisant le mot clé `extends`

```
public class RaceCar extends Car { ... }
```

- Terminologie :
 - ▶ Classe mère/parent, super-classe ou classe de base (ici, Car)
 - ▶ Classe fille/enfant, sous-classe ou classe dérivée (ici, RaceCar)
 - ▶ Relation "est un"
- Les classes enfant héritent de toutes les méthodes et attributs (accessibles) de la classe parent
 - ▶ Elles peuvent ajouter de nouvelles fonctionnalités
 - ▶ Elles peuvent également redéfinir des méthodes héritées
- Les classes enfant sont une spécialisation de la classe parent
 - ▶ Elles peuvent être traitées comme la classe parent puisqu'elles ont (au moins) les mêmes membres
 - ▶ Elles sont un sous-type de la classe parent
 - ▶ Une instance de classe enfant est donc aussi du type de la classe parent (polymorphisme)

Héritage de classe (2)

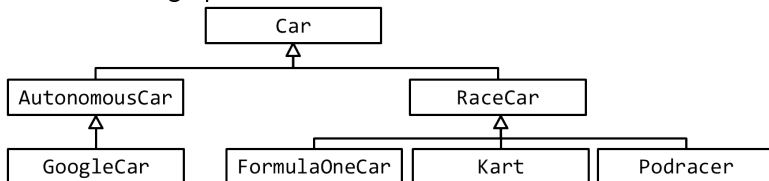
- En Java, il n'y a pas d'héritage multiple
 - ▶ Une classe ne peut hériter que d'une seule classe (qui elle-même peut hériter d'une autre classe, et ainsi de suite)
- Les liens d'héritage permettent de définir des hiérarchies de classes



- ▶ Une instance de FormulaOneCar est aussi une RaceCar et une Car
- ▶ Les interfaces publiques définies dans RaceCar et dans Car font partie de l'interface publique d'un objet FormulaOneCar

Héritage de classe (3)

- Les liens d'héritage permettent de définir des hiérarchies de classes



- ▶ Par héritage :
 - ★ Une *Google car* est une voiture sans conducteur
 - ★ Une Formule 1 est une voiture
 - ★ Une voiture de course est une voiture
- ▶ Ces déclarations sont clairement fausses :
 - ★ Une *Google car* est une voiture de course
 - ★ Une voiture sans conducteur est une Formule 1
- ▶ Qu'en est-il de ces déclarations ?
 - ★ Une voiture est une *Google car*
 - ★ Une voiture de course est une Formule 1
- ▶ Dépend du véhicule considéré !
 - ★ Nécessite d'examiner un véhicule spécifique pour vérifier la déclaration

Classe Object

- Si une classe ne précise pas de classe parent, elle hérite par défaut de la classe Object
- En Java, toutes les classes héritent donc directement ou indirectement (*via* leur classe parent) de la classe Object
 - ▶ Tout objet peut être traité comme une instance d'Object
 - ▶ Tout objet peut utiliser les méthodes définies par la classe Object
 - ★ `toString()`, `equals(Object)`, `clone()`, `hashCode()`, `getClass()`
 - ★ Penser à les redéfinir pour avoir un traitement spécifique à la classe
- Ainsi, les liens d'héritage forment un arbre ayant la classe Object pour racine

Factorisation du comportement

- Les comportements (accessibles) définis dans une classe sont directement disponibles pour les instances des classes qui en héritent (même indirectement)

```
public class RaceCar extends Car {
    public int getNbSeats() {
        return 1;
    }
}
```

```
public class Kart extends RaceCar { ... }
Kart k = new Kart();           // un Kart peut utiliser les
int n = k.getNbSeats();        // méthodes publiques de ses
Class c = k.getClass();        // classes parent
RaceCar r = k; // upcast autorise vers RaceCar
Car c = k;      // ou vers Car
```

- ▶ Les méthodes des classes parent peuvent être appelées sans syntaxe spéciale
- ▶ Un objet Kart est aussi une RaceCar et peut donc appeler toutes les méthodes déclarées et/ou implémentées de RaceCar

Factorisation de l'état

- Les attributs des classes parent sont des attributs de la classe enfant

```

public class Car {
    private String make;
    public Engine engine; // uniquement pour illustrer
    ...
}
public class RaceCar extends Car { ... }
public class Kart extends RaceCar { ... }
...
Kart k = new Kart();
k.engine.start(); // engine est un attribut de Kart

```

- Mais les attributs privés restent toujours inaccessibles

```

public class Kart extends RaceCar {
    public void foo() {
        // S.o.p(this.make); // erreur : acces interdit
        S.o.p(this.getMake()); // l'attribut make existe
    }
    // donc bien pour Kart
}

```

Extension du comportement

- Une classe enfant peut fournir ses propres méthodes (*i.e.*, ajouter de nouveaux comportements)
- Une classe enfant est donc une extension de la classe parent

```
public class RaceCar extends Car {  
    public int getNbSeats() {  
        return 1;  
    }  
}  
  
public class Kart extends RaceCar {  
    public void drifting() { ... }  
}
```

- ▶ La classe Kart étend les fonctionnalités de la classe RaceCar
- ▶ Un objet Kart peut appeler les méthodes `getNbSeats()` et `drifting()`

Spécialisation du comportement

- Une classe enfant peut redéfinir une méthode héritée
 - ▶ On parle de redéfinition lorsqu'une classe enfant définit une méthode portant le même nom et les mêmes paramètres qu'une méthode héritée
 - ▶ Cela permet de préciser un autre comportement que celui hérité
 - ▶ C'est ce comportement qui est utilisé par les instances de la classe

```
public class KartDoubleDash extends Kart {
    public int getNbSeats() {
        return 2;
    }
}
```

```
...
KartDoubleDash mario = new KartDoubleDash();
System.out.println(mario.getNbSeats()); // affiche 2
Kart yoshi = new Kart();
System.out.println(yoshi.getNbSeats()); // affiche 1
Kart luigi = mario; // upcast
System.out.println(luigi.getNbSeats()); // affiche 2
// liaison tardive
```

Recherche de méthodes (1)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h();
        this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
}

```

```

public class C extends B {
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}
...
A ref;
ref = new A();
ref.f(); // affiche ?

```

Recherche de méthodes (2)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h();
        this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
}

```

```

public class C extends B {
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}
...
A ref;
ref = new A();
ref.f(); // affiche :
// A.f
// A.p
// A.g
// A.h
// A.p

```

Recherche de méthodes (3)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h();
        this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
}

```

```

public class C extends B {
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}
...
A ref;
ref = new B();
ref.f(); // affiche ?

```

Recherche de méthodes (4)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h();
        this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
}

```

```

public class C extends B {
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}
...
A ref;
ref = new B();
ref.f(); // affiche :
// B.f
// B.p
// A.g
// B.h
// A.p

```


Recherche de méthodes (5)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h();
        this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
}

```

```

public class C extends B {
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}
...
A ref;
ref = new C();
ref.f(); // affiche ?

```

Recherche de méthodes (6)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h();
        this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p();
        this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
}

public class C extends B {
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}
...
A ref;
ref = new C();
ref.f(); // affiche :
// B.f
// B.p
// A.g
// C.h
// A.p

```

Résumé

- Méthode publique

- ▶ Le code à exécuter lors de l'invocation d'une méthode publique n'est déterminé qu'à l'exécution (liaison tardive)
- ▶ La recherche commence dans la classe du type dynamique de l'objet receveur
- ▶ Et remonte de classe parent en classe parent jusqu'à trouver la signature identifiée à la compilation

- Méthode privée

- ▶ Le code à exécuter lors de l'invocation d'une méthode privée est celui défini dans la classe du type statique de l'objet receveur

Masquage d'attribut

```

public class Kart extends RaceCar {
    public int nbSeats = 1; // uniquement pour illustrer
    public int getNbSeats() { return this.nbSeats; }
}

public class KartDoubleDash extends Kart {
    public int nbSeats = 2; // uniquement pour illustrer
}

...
KartDoubleDash mario = new KartDoubleDash();
System.out.println(mario.nbSeats); // affiche 2
Kart luigi = mario;
System.out.println(luigi.nbSeats); // affiche 1
System.out.println(mario.getNbSeats()); // affiche 1

```

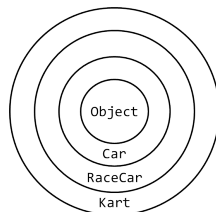
- Masquage de la variable héritée, mais les deux continuent d'exister
- Attention, il est possible de masquer un attribut en changeant de type
- Moralité : éviter de déclarer une variable portant le même nom qu'une variable héritée !

Ce à quoi les classes enfant n'ont pas accès

- Les classes enfant ne peuvent pas accéder aux membres privés des classes parent
- Le modificateur d'accès `protected` permet à la classe enfant d'accéder aux membres de la classe parent
 - ▶ Uniquement accessibles à l'intérieur de la classe et dans toutes ses sous-classes, ainsi que dans les classes du même *package*
 - ▶ Plus lâche que `private`, mais toujours pas `public` !
 - ▶ Les attributs "factorisables" peuvent donc être définis comme `protected` (en conservant les accesseurs pour les autres classes)
- Les classes enfant n'héritent pas non plus des attributs et des méthodes statiques
 - ▶ Ils peuvent être accédés, mais ne sont pas hérités

Plusieurs couches objet

«Les ~~ogres~~ objets sont comme les oignons... Ils ont des couches !»



- Un objet de type Kart est composé d'un noyau défini par Object, étendu par une couche Car, puis une couche RaceCar et enfin Kart
- À chaque couche, il est possible d'utiliser tout ce qui est accessible aux couches intérieures
- Dans le cas d'une redéfinition, c'est la définition de la couche la plus extérieure qui est considérée
- Un *upcast* revient à supprimer des couches, c'est-à-dire supprimer l'accès aux définitions des couches enlevées (e.g., `Car c=new Kart();`)

Construction d'objet de classe enfant

- Il faut construire les différentes couches
 - ▶ Utilisation des constructeurs pour chaque couche
- Les constructeurs de la classe parent ne sont pas hérités !
- Si la classe parent n'a pas de constructeur par défaut, il faut explicitement appeler l'un des constructeurs de la classe parent, en utilisant le mot clé `super` avec d'éventuels paramètres
 - ▶ Chaînage de constructeurs : il ne s'agit plus d'appeler un constructeur de la même classe mais de la classe parent, d'où le `super(...)` au lieu d'un `this(...)`
- Le constructeur d'une classe enfant doit commencer par un appel à un constructeur de la classe parent pour initialiser la partie héritée de l'état, puis il initialise directement les variables d'instance déclarées

Illustration

```

public class Car { // extends Object implicite
    private int nbSeats;
    public Car(int nbSeats) {
        // utilise implicitement super() de Object
        this.nbSeats = nbSeats;
    } ...
}

public class RaceCar extends Car {
    private String tournament;
    public RaceCar(String tournament) {
        super(1); // appel du constructeur de la classe parent
        this.tournament = tournament;
    } ...
}

public class Kart extends RaceCar {
    public Kart() {
        super("Mario_Kart"); // idem
    } ...
}

```


Mot clé super

- `super` est une référence à l'objet receveur (*i.e.*, sur lequel la méthode est appelée)
 - ▶ `super == this`
- Au sein d'une classe enfant, l'appel à une méthode héritée se fait sur `this`, sauf si on est en train de redéfinir la méthode héritée, auquel cas l'appel se fait sur `super`

```
public class Car {
    public String toString() {
        return "voiture";
    }
}
```

```
public class AutonomousCar extends Car {
    public String toString() {
        return super.toString() + " _sans_conducteur";
    }
}
```

```
...
S.o.p(new AutonomousCar()); // voiture sans conducteur
```

Recherche de méthodes avec `super`

- Différente de celle avec `this`
- Méthode publique
 - ▶ La recherche commence dans la classe parent de la classe définissant la méthode utilisant `super`
 - ▶ Le processus de chaînage reste ensuite le même
- `super` ne fait pas commencer la recherche dans la classe parent de l'objet!
 - ▶ `this` est dynamique, `super` est statique

Recherche de méthodes avec super (1)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h(); this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
    public void k() {S.o.p("A.k");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
    public void k() {
        S.o.p("B.k"); super.k();
    }
}

public class C extends B {
    public void f() {
        S.o.p("C.f"); super.f();
    }
    public void g() {
        S.o.p("C.g"); super.g();
    }
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}

...
A ref;
ref = new B();
ref.k(); // affiche ?

```

Recherche de méthodes avec super (2)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h(); this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
    public void k() {S.o.p("A.k");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
    public void k() {
        S.o.p("B.k"); super.k();
    }
}

public class C extends B {
    public void f() {
        S.o.p("C.f"); super.f();
    }
    public void g() {
        S.o.p("C.g"); super.g();
    }
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}

...
A ref;
ref = new B();
ref.k(); // affiche :
// B.k
// A.k

```

Recherche de méthodes avec super (3)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h(); this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
    public void k() {S.o.p("A.k");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
    public void k() {
        S.o.p("B.k"); super.k();
    }
}

public class C extends B {
    public void f() {
        S.o.p("C.f"); super.f();
    }
    public void g() {
        S.o.p("C.g"); super.g();
    }
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}

...
A ref;
ref = new C();
ref.f(); // affiche ?

```

Recherche de méthodes avec super (4)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h(); this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
    public void k() {S.o.p("A.k");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
    public void k() {
        S.o.p("B.k"); super.k();
    }
}

public class C extends B {
    public void f() {
        S.o.p("C.f"); super.f();
    }
    public void g() {
        S.o.p("C.g"); super.g();
    }
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}

...
A ref;
ref = new C();
ref.f(); // affiche :
// C.f
// B.f
// B.p
// C.g
// A.g
// C.h
// A.p

```

Recherche de méthodes avec super (5)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h(); this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
    public void k() {S.o.p("A.k");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
    public void k() {
        S.o.p("B.k"); super.k();
    }
}

public class C extends B {
    public void f() {
        S.o.p("C.f"); super.f();
    }
    public void g() {
        S.o.p("C.g"); super.g();
    }
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}

...
A ref;
ref = new C();
ref.k(); // affiche ?

```

Recherche de méthodes avec super (6)

```

public class A {
    public void f() {
        S.o.p("A.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void g() {
        S.o.p("A.g");
        this.h(); this.p();
    }
    public void h() {S.o.p("A.h");}
    private void p() {S.o.p("A.p");}
    public void k() {S.o.p("A.k");}
}

public class B extends A {
    public void f() {
        S.o.p("B.f");
        this.p(); this.g();
    }
    public void h() {S.o.p("B.h");}
    private void p() {S.o.p("B.p");}
    public void k() {
        S.o.p("B.k"); super.k();
    }
}

public class C extends B {
    public void f() {
        S.o.p("C.f"); super.f();
    }
    public void g() {
        S.o.p("C.g"); super.g();
    }
    public void h() {S.o.p("C.h");}
    private void p() {S.o.p("C.p");}
}

...
A ref;
ref = new C();
ref.k(); // affiche :
// B.k
// A.k

```


Attention

Lors de la sélection d'une méthode polymorphe, c'est le type de la référence passée en paramètre qui compte et pas celui de l'objet référencé

```

public class A {
    public void f() { S.o.p("A.f"); }
}
public class B extends A {
    public void f() { S.o.p("B.f"); }
}
public class C extends A { }
public class D {
    public void foo(A a) { a.f(); }
    public void foo(B b) { S.o.p("foo(B)"); }
    public void foo(C c) { S.o.p("foo(C)"); }
    public void bar(A a) { this.foo(a); }
    public static void main(String[] args) {
        A a = new A(); B b = new B();
        C c = new C(); D d = new D();
        d.foo(a); d.foo(b); d.foo(c);
        d.bar(a); d.bar(b); d.bar(c);
    }
}

```

*// affiche :
 // A.f
 // foo(B)
 // foo(C)
 // A.f
 // B.f
 // A.f*

Étapes de la création d'un objet

- ❶ Chargement de la classe, si cela n'a pas encore été fait
 - ▶ Et donc chargement des éventuelles classes parent selon le même principe
- ❷ Initialisation des attributs statiques (avec valeur par défaut)
 - ▶ Une seule fois au moment du chargement de la classe
- ❸ Appel du constructeur de la classe parent
- ❹ Initialisation des attributs ayant une valeur par défaut
- ❺ Exécution du reste du code du constructeur

Illustration (1)

```

public class V {
    public V(int i) { S.o.p("V" + i); }
}
public class A {
    private static V v0 = new V(0);
    public A() { S.o.p("A"); }
}
public class B extends A {
    private static final V v1 = new V(1);
    private V v2 = new V(2);
    private V v3;
    public B() {
        System.out.println("B");
        this.v3 = new V(3);
    }
}
...
B b1 = new B(); // affiche ?

```

Illustration (2)

```

public class V {
    public V(int i) { S.o.p("V" + i); }
}
public class A {
    private static V v0 = new V(0);
    public A() { S.o.p("A"); }
}
public class B extends A {
    private static final V v1 = new V(1);
    private V v2 = new V(2);
    private V v3;
    public B() {
        System.out.println("B");
        this.v3 = new V(3);
    }
}
...
B b1 = new B();

```

// affiche :
// V0
// V1
// A
// V2
// B
// V3

Illustration (3)

```

public class V {
    public V(int i) { S.o.p("V" + i); }
}
public class A {
    private static V v0 = new V(0);
    public A() { S.o.p("A"); }
}
public class B extends A {
    private static final V v1 = new V(1);
    private V v2 = new V(2);
    private V v3;
    public B() {
        System.out.println("B");
        this.v3 = new V(3);
    }
}
...
B b1 = new B();
B b2 = new B(); // affiche ?

```

Illustration (4)

```

public class V {
    public V(int i) { S.o.p("V" + i); }
}
public class A {
    private static V v0 = new V(0);
    public A() { S.o.p("A"); }
}
public class B extends A {
    private static final V v1 = new V(1);
    private V v2 = new V(2);
    private V v3;
    public B() {
        System.out.println("B");
        this.v3 = new V(3);
    }
}
...
B b1 = new B();
B b2 = new B(); // affiche ?

```

// affiche :
// V0
// V1
// A
// V2
// B
// V3
// A
// V2
// B
// V3

Mort d'un objet

- *A priori*, il n'y a pas à s'en occuper
- Le ramasse-miettes recycle si nécessaire les objets qui ne sont plus référencés et libère la mémoire associée
- Mais il n'y a aucune assurance qu'un objet sera effectivement collecté
- La méthode `finalize` est appelée par le ramasse-miettes (donc pas forcément appelée !)
 - ▶ Elle permet un traitement spécifique lors de la libération de la mémoire
 - ▶ La correction ne doit pas dépendre de l'appel à `finalize`
- Ramasse-miettes \neq destruction (e.g., en C++)
 - ▶ Il n'est pas systématique ni spécifié
 - ▶ Il concerne uniquement la libération de ressources mémoire

Méthode `finalize`

- Elle est peut être nécessaire si de la mémoire a été allouée autrement que par Java (e.g., par un programme C/C++ *via* JNI)
- Elle n'est appelée qu'une unique fois pour un objet
- Ramasse-miettes en deux passes :
 - ❶ Détermine les objets qui ne sont plus référencés et appelle la méthode `finalize` pour ces objets
 - ❷ Libère effectivement la mémoire
- Donc, si l'on veut un traitement particulier (autre que mémoire) lors de la fin de vie d'un objet (e.g., fermer des flux), il est préférable de définir et appeler explicitement une méthode dédiée (pas `finalize`)

Illustration

```

public class Value {
    private static int cpt = 0;
    private int i;
    public Value() { this.i = cpt++; }
    public void finalize() { S.o.p(this.i + " finalized"); }
}

public class TestFinalize {
    public static void main(String[] args) {
        for (int i=0; i < Integer.parseInt(args[0]); i++)
            new Value();
    }
}

```

```

> java TestFinalize 100000
> java TestFinalize 110000
0 finalized
[...]
10 finalized

```

Factorisation de code?

```

class Car implements Vehicle {
    private Engine engine;
    ...
    public void start() {
        this.engine.start();
    }
    ...
    public void turn(Direction d) {
        ... // traitement
    }
}

```

```

class Motorcycle implements Vehicle {
    private Engine engine;
    ...
    public void start() {
        this.engine.start();
    }
    ...
    public void turn(Direction d) {
        ... // traitement different
    }
}

```

- Attributs et code répétés
- Mais la méthode `turn` est différente pour les deux classes
- Comment concilier la factorisation de code et les différences?

Début de solution

```

public class MotorVehicle implements Vehicle {
    protected Engine engine; ...
    public void start() { this.engine.start(); }
    public void turn(Direction d) { } // ne fait rien
}
public class Car extends MotorVehicle {
    ...
    public void turn(Direction d) { ... } // traitement
}
public class Motorcycle extends MotorVehicle {
    ...
    public void turn(Direction d) { ... } // traitement
                                     // différent
}

```

- Un certain nombre de méthodes et d'attributs peuvent être définis de manière commune pour tous les véhicules motorisés
- En fait, cela n'a pas beaucoup de sens pour MotorVehicle d'avoir une implémentation (vide!) de turn
 ⇒ Faire de MotorVehicle une classe abstraite

Classes abstraites

- Une classe abstraite déclare un ensemble de comportements, mais le définit seulement partiellement
 - ▶ Elle déclare des méthodes abstraites, c'est-à-dire sans comportement attaché (implémentation)
 - ▶ Elle peut toujours comporter des attributs et des méthodes non abstraites
 - ▶ C'est une classe intermédiaire entre l'interface et la classe concrète
 - ▶ Elle est utilisée pour factoriser du code entre les classes concrètes en utilisant le mécanisme d'héritage
- Une classe abstraite ne peut pas être instanciée
 - ▶ Elle peut néanmoins déclarer des constructeurs
 - ▶ Elle doit être dérivée afin d'implémenter les fonctionnalités manquantes
 - ▶ Les classes enfants doivent fournir une implémentation de toutes les méthodes abstraites de la classe parent
 - ★ Si non, elles doivent aussi être déclarées abstraites

Déclarer des classes abstraites

- Les classes abstraites sont déclarées comme des classes, mais en utilisant le mot clé `abstract` avant `class`
- Les méthodes abstraites sont déclarées en utilisant le mot clé `abstract` avant le type de retour, et sans corps

```
public abstract class MotorVehicle implements Vehicle {  
    protected Engine engine;  
    ...  
    public void start() {  
        this.engine.start();  
    }  
    public abstract void turn(Direction d);  
    ...  
}
```

Exemple : Car.java

```
public class Car extends MotorVehicle {  
    ...  
    public void turn(Direction d) {  
        ... // traitement  
    }  
    ...  
}
```

- La classe Car ne redéfinit pas la méthode turn
 - ▶ Il n'y a rien à redéfinir !
 - ▶ La classe Car implémente la méthode turn(Direction)
 - ▶ Il n'est évidemment pas possible de faire appel à `super.turn(...)`
- Encore une fois, les signatures de méthode doivent correspondre
 - ▶ Sans le modificateur `abstract`, bien sûr !

Retour sur les types énumérés

```
public enum Fuel {  
    GASOLINE {  
        public double evalCO2Emissions(double qty) { ... }  
    },  
    DIESEL {  
        public double evalCO2Emissions(double qty) { ... }  
    },  
    LPG {  
        public double evalCO2Emissions(double qty) { ... }  
    };  
    public abstract double evalCO2Emissions(double qty);  
}
```

- Méthodes différenciées pour chaque constante

Mot clé `final`

- Il est possible d'interdire l'héritage d'une classe en utilisant le modificateur `final` avant `class`
 - ▶ Par exemple, les classes `String` ou encore `Boolean`
- Il est possible d'interdire la redéfinition d'une méthode en utilisant le modificateur `final` avant le type de retour
- `final` \sim "constant"

```
public final class Podracer extends RaceCar {...}  
public class Kart extends RaceCar {  
    public final void beep() { ... }  
}  
public class KartDoubleDash extends Kart {  
    // ne peut pas redéfinir public void beep()  
}
```

- Quels intérêts de définir une méthode `final`?
 - ▶ Fermer le code à l'extension
 - ▶ Garantir le code exécuté indépendamment de tout héritage possible

Héritage multiple

- Rappel, l'héritage multiple de classes n'existe pas en Java
- Quel en serait l'intérêt ?
 - ▶ Faire hériter une classe simultanément de plusieurs classes et récupérer ainsi les comportements de chacune

```

public class Car extends MotorVehicle {
    public void move(short speed) { ... }
}

public class TimeMachine {
    public void backToTheFuture(Date date) { ... }
}
// interdit en Java
public class DeLorean extends Car, TimeMachine { ... }
...
DeLorean d = new DeLorean();
d.move(88);
d.backToTheFuture(new Date(21, 10, 2015));
Car c = d;           // upcast possible vers l'une ou
TimeMachine tm = d;  // l'autre des classes

```

Problèmes de l'héritage multiple

- Quelle définition choisir en cas d'une déclaration multiple dans les classes parent ?

```

public class Car extends MotorVehicle {
    public void fillUp(double qty) { ... }
}

public class TimeMachine {
    public void fillUp(double qty) { ... }
}

// interdit en Java
public class DeLorean extends Car, TimeMachine { ... }
...

DeLorean d = new DeLorean();
d.fillUp(1.21); // Quelle definition de methode ?

```

- Comment résoudre ce problème ?
 - ▶ Une solution : imposer le transtypage

```

    (Car) d.fillUp(1.21);
    ou (TimeMachine) d.fillUp(1.21);

```

Problème du diamant (1)

- Est-ce suffisant ?

```

public abstract class PoweredMachine {
    public abstract void fillUp(double qty);
}
public class Car extends PoweredMachine {
    public void fillUp(double qty) { ... }
    ...
}
public class TimeMachine extends PoweredMachine {
    public void fillUp(double qty) { ... }
    ...
}
// interdit en Java
public class DeLorean extends Car, TimeMachine { ... }
    ...
PoweredMachine pm = new DeLorean();
pm.fillUp(1.21); // Que se passe-t-il ? -> ambiguïté !

```

Problème du diamant (2)

- Le problème du diamant est lié à l'héritage multiple de 2 classes (ici, Car et TimeMachine) qui héritent d'une même classe parent (ici, PoweredMachine) lors de l'*upcast* vers cette classe parent commune
 - ▶ Quelle définition de `fillUp(double qty)` choisir?
- Le problème apparaît aussi pour d'éventuels attributs dans la classe PoweredMachine
 - ▶ Quelle copie de l'attribut considérer?
 - ▶ Y a-t-il 2 copies?
- En Java :
 - ▶ Héritage simple de classe
 - ▶ Implémentation multiple des interfaces

Solution Java : combiner interfaces et héritage

- Choisir l'héritage de l'une des deux classes et définir une interface pour la partie spécifique à l'autre classe qu'il faut récupérer

```

public abstract class PoweredMachine {
    public abstract void fillUp(double qty);
}

public class Car extends PoweredMachine {
    public void fillUp(double qty) { ... } ...
}

public interface TimeMachine {
    void backToTheFuture(Date date); ...
}

public class DeLorean extends Car implements TimeMachine {
    public void backToTheFuture(Date date) { ... } ...
}

...
DeLorean d = new DeLorean();
PoweredMachine pm = d;
pm.fillUp(1.21);
Car c = d;
TimeMachine tm = d;

```

Intérêts de combiner interfaces et héritage

- Accroître le polymorphisme tout en évitant les problèmes liés à l'héritage multiple
- Accroître l'abstraction grâce à l'*upcast*

```

public interface TimeMachine {
    void backToTheFuture(Date date);
}
public class DeLorean extends Car implements TimeMachine {
    public void backToTheFuture(Date date) { ... } ...
}
public class Tardis extends PoliceBox implements TimeMachine {
    public void backToTheFuture(Date date) { ... } ...
}
public class Traveller {
    public void timeTravel(TimeMachine tm, Date date) {
        tm.backToTheFuture(date);
    }
}
...
(new Traveller()).timeTravel(new Tardis(), new Date(15,10,2015));
  
```

- ▶ N'importe quelle classe peut potentiellement implémenter l'interface TimeMachine et ainsi être passée en paramètre de timeTravel

Héritage et composition

- Deux manières de réutiliser :
 - ▶ Héritage (relation "est un")
 - ▶ Composition (relation "a un")

Réutilisation par héritage

- Avantages :
 - ▶ Liaison dynamique et polymorphisme (utilisation de l'*upcast*)
 - ▶ Modification de code facilitée en remplaçant un objet de classe C par une instance d'une sous-classe de C
- Mais un changement de l'interface de la classe parent peut corrompre le code qui utilise les sous-classes
 - ▶ La sous-classe dépend de l'implémentation de toutes ses classes parent
 - ▶ Encapsulation faible

Illustration

```
public class RaceCar extends Car {  
    private String driver;  
    ...  
    public String getDriver() {  
        return this.driver;  
    }  
}  
  
public class Kart extends RaceCar { ... } // heritage  
...  
Kart k = new Kart();  
String name = k.getDriver();
```

Changement de l'interface

```
public class Driver {  
    private String name;  
    ...  
    public String getName() { return this.name; }  
}  
public class RaceCar extends Car { // interface modifiée  
    private Driver driver;  
    ...  
    public Driver getDriver() { // type de retour modifié  
        return this.driver;  
    }  
}  
public class Kart extends RaceCar {...} // rien n'a changé  
...  
Kart k = new Kart();  
String name = k.getDriver(); // erreur : code corrompu
```

Réutilisation par composition

- Au lieu d'hériter d'une classe *C*, une classe peut :
 - ❶ Détenir une référence à une instance de *C*
 - ❷ Encapsuler les méthodes à récupérer de *C* dans de nouvelles méthodes
- Il n'y a pas de récupération automatique de toute l'interface publique de *C*
 - ▶ Elle doit être explicite : délégation
 - ▶ *C* devient une classe *back-end*
 - ▶ Encapsulation plus forte
 - ★ L'interface de la classe *front-end* (i.e., la classe englobante) ne peut pas être changée en changeant celle de *C*

Illustration

```
public class RaceCar extends Car {  
    private String driver;  
    ...  
    public String getDriver() {  
        return this.driver;  
    }  
}  
  
public class Kart {  
    private RaceCar car = new RaceCar(); // composition  
    ...  
    public String getDriver() {  
        return this.car.getDriver(); // delegation  
    }  
}  
  
...  
Kart k = new Kart();  
String name = k.getDriver();
```

Changement de l'interface

```

public class Driver {
    private String name; ...
    public String getName() { return this.name; }
}

public class RaceCar extends Car { // interface modifiée
    private Driver driver; ...
    // type de retour modifié
    public Driver getDriver() { return this.driver; }
}

public class Kart {
    private RaceCar car = new RaceCar(); ...
    public String getDriver() { // code à changer
        return (this.car.getDriver()).getName();
    }
}

...
Kart k = new Kart();
String name = k.getDriver(); // ok

```

Composition > Héritage

- Il est plus facile de changer l'interface d'une classe *back-end* que d'une classe parent
 - ▶ Permet de conserver l'interface de la classe *front-end*
- Il est plus facile de changer l'interface d'une classe *front-end* que d'une sous-classe
 - ▶ Il n'est pas toujours possible de changer l'interface d'une méthode héritée (e.g., le type de retour)
- Il est possible de retarder la création des objets agrégés
 - ▶ Avec l'héritage, la classe parent est créée dès la création de l'objet
- Le changement de l'implémentation (pas de l'interface) est aussi facile dans les deux cas

Héritage > composition

- Il est plus facile d'ajouter des sous-classes par héritage que d'ajouter des classes *front-end* par composition
 - ▶ Grâce au polymorphisme, il est possible de facilement passer d'une (instance de) super-classe à sa sous-classe sans changer de code
- La délégation d'invocation de méthode de la composition a un coût, surtout si elle est systématique
- Le lien par héritage est plus facile à appréhender que le lien par composition
- Le changement de l'implémentation (pas de l'interface) est aussi facile dans les deux cas

Héritage et composition

- Deux manières de réutiliser :
 - ▶ Héritage (relation "est un")
 - ★ Plus facile d'hériter des sous-classes
 - ▶ Composition (relation "a un")
 - ★ Plus de flexibilité
 - ★ Risque de corruption de code limité
- Par rapport à l'héritage, la composition diminue le couplage
- Ne pas utiliser l'héritage juste pour "récupérer" du code, préférer la composition
 - ▶ La relation "est un" est-elle durable/fiable pour l'application/API ?
 - ★ Par exemple, on peut avoir une `Person` "est un" `Driver`, mais *quid* si la `Person` perd tous les points de son permis de conduire ?
- Penser à combiner interfaces et composition

Combiner interfaces et composition

```

public interface Drivable {
    Driver getDriver();
}

public class RaceCar extends Car {
    private String driver; ...
    public String getDriver() {
        return this.driver;
    }
}

public class Kart implements Drivable {
    private RaceCar car = new RaceCar();
    ...
    public Driver getDriver() {
        return new Driver(this.car.getDriver());
    }
}

public class Game() {
    public void foo(Drivable d) { S.o.p(d.getDriver()); }
}

...
Game g = new Game();
g.foo(new Kart());

```

- Le problème de la modification de la classe *back-end* est pris en charge par la composition
- Le problème de l'ajout de sous-classe est prise en charge par l'interface Drivable

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions**
- 7 Collections
- 8 Types génériques

Gestion des erreurs à l'exécution

- Parfois, le code peut détecter une erreur, mais pas nécessairement la résoudre
 - ▶ Par exemple, un code peut détecter qu'un fichier ne peut pas être ouvert, mais que doit-il faire ?
- Plusieurs manières d'indiquer des erreurs à l'appelant
 - ▶ Retourner une valeur d'erreur spéciale
 - ★ Sauf si c'est un constructeur, lequel ne peut pas retourner de valeur !
 - ★ Possiblement difficile à traiter
 - ▶ Lever/lancer une exception pour signaler l'erreur

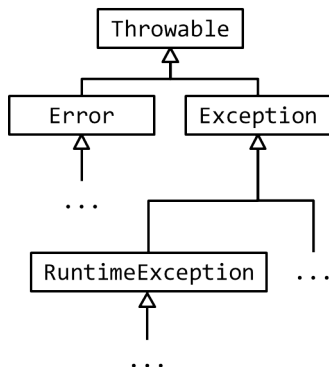
Exceptions

- Une exception est un signal déclenché en cas de problème
- Idée :
 - ▶ Anticiper le code susceptible de produire une erreur
 - ▶ Séparer le traitement des cas normaux de celui des cas exceptionnels
 - ★ Un cas exceptionnel est une situation qui ne correspond au fonctionnement normal du programme
- En Java, une exception est un objet de type `Exception`
 - ▶ Les sous-classes d'`Exception` se nomment par convention `XXXException`

Exemples de cas exceptionnels

- Appel d'une méthode sur une référence null
 - ▶ `NullPointerException`
- Accès à des cases d'un tableau en dehors des indices autorisés
 - ▶ `ArrayIndexOutOfBoundsException`
- Transtypage impossible
 - ▶ `ClassCastException`
- Division par zéro
 - ▶ `ArithmeticException`
- Ouverture en lecture d'un fichier qui n'existe pas
 - ▶ `FileNotFoundException`
- *etc.*

Hiérarchie d'exceptions Java



- **Throwable**

- ▶ Classe de base pour tous les objets pouvant être lancés

- ★ `void printStackTrace()`
- ★ `String getMessage()`
- ★ `String getLocalizedMessage()`

- **Error**

- ▶ Sérieux problèmes dans la JVM (e.g., manque de ressource) que les applications ne traiteront généralement pas

- **Exception**

- ▶ Problèmes ordinaires que les applications pourraient vouloir traiter

- **RuntimeException**

- ▶ Les applications peuvent ou non les traiter
- ▶ En général, elles indiquent des erreurs de programmation

Créer une classe d'exception

- Définir une classe dérivant d'`Exception` ou de l'une de ses sous-classes déjà définies, en la nommant de la forme `XXXException`
- Spécialiser un type d'erreur, ajouter une information dans l'objet exception...
 - ▶ Exceptions spécifiques à l'application
 - ▶ Sinon utiliser les exceptions existantes

```
public class OutOfFuelException extends Exception {  
    public OutOfFuelException(String msg) {  
        super(msg);  
    }  
}
```

Mécanisme de gestion des exceptions

- La gestion des exceptions se décompose en deux phases :
 - ❶ Lever (ou lancer) une exception pour signaler l'erreur (*i.e.*, là où un problème se pose dans le code)
 - ❷ Capturer (ou attraper) une exception pour proposer une solution/alternative et ainsi rétablir une situation stable (*e.g.*, quitter le programme proprement)
 - ★ Les exceptions sont transmises au gestionnaire d'exceptions (*exception handler*) afin d'être traitées

Lever des exceptions (1)

- Pour lever explicitement une exception dans un code :
 - ❶ Créer un objet exception (de la classe d'exception voulue)
 - ❷ Lever l'exception en utilisant le mot clé `throw`
- Il est possible de spécifier un message d'erreur pour les exceptions
 - ▶ Il doit indiquer ce qui est attendu et ce qui est réellement arrivé

```
...  
if (this.getFuelQuantity() == 0) {  
    throw new OutOfFuelException("demarrage de la  
    voiture impossible, pas de carburant");  
}  
this.engine.start();  
...
```

Lever des exceptions (2)

- Lorsqu'une exception est levée, l'exécution est immédiatement transférée au gestionnaire de cette exception
 - ▶ Cela casse le flot de contrôle du programme
 - ▶ Le calcul courant est interrompu, mais pas le programme!
- Dans cet exemple, lorsqu'une exception est levée, plus aucun code après n'est exécuté, retour à l'appelant
 - ▶ Le moteur n'est pas démarré

```

...
if (this.getFuelQuantity() == 0) {
    throw new OutOfFuelException("demarrage de la
    voiture impossible, pas de carburant");
}
this.engine.start();
...

```

Gestionnaire d'exceptions (1)

- Lorsqu'un code est susceptible de lever une exception, il est possible d'essayer d'exécuter ce code et de capturer l'exception pour la traiter, en utilisant la séquence d'instructions `try/catch/finally`

```
...
try {
    this.engine.start(); // peut lever une exception
    System.out.println("Moteur OK");
} catch (EngineException e) {
    System.err.println("Probleme : " + e.getMessage());
} finally {
    System.out.println("Fin du démarrage");
}
```

- ▶ Bloc `try` : code susceptible de lever des exceptions
- ▶ Bloc `catch` : code de traitement pour un type particulier d'exception
 - ★ Il peut y avoir plusieurs blocs `catch` pour un même bloc `try`
- ▶ Bloc `finally` (optionnel) : code à exécuter dans tous les cas, exception levée ou non
- ▶ Il faut au moins un bloc `catch` ou `finally` pour chaque bloc `try`

Gestionnaire d'exceptions (2)

- Si la méthode `start()` lève une exception, l'exécution est immédiatement transférée au bloc `catch` avec le même type d'exception
- Le bloc `catch (EngineException e)` capture toute exception de type `EngineException` et ses sous-classes

```
...
try {
    this.engine.start(); // peut lever une exception
    System.out.println("Moteur OK");
} catch (EngineException e) {
    System.err.println("Probleme : " + e.getMessage());
} finally {
    System.out.println("Fin du démarrage");
}
```

- ▶ "Moteur OK" n'est pas affichée sur la sortie standard
- ▶ L'erreur est affichée à la place sur la sortie d'erreur
- ▶ "Fin du programme" est affichée sur la sortie standard

Gestionnaire d'exceptions (3)

- Un bloc `try` peut uniquement traiter des exceptions qui se produisent à l'intérieur de ce bloc de code
- Un même bloc `try` peut être susceptible de lever plusieurs exceptions
 - ▶ Il est possible de les traiter séparément ou globalement
- Le type de l'exception détermine quel bloc `catch` traite réellement l'exception
 - ▶ Spécifier un ou plusieurs blocs `catch` immédiatement après le bloc `try`
 - ▶ Le premier bloc `catch` avec le type correspondant traitera l'exception
 - ★ Attention à l'ordre des blocs `catch`
 - ▶ Après l'exécution du bloc `catch`, l'exécution reprend après l'instruction `try/catch`
 - ★ Seulement un bloc `catch` est exécuté
 - ▶ Le bloc `try` n'est pas ré-exécuté après le traitement de l'exception
 - ★ Même si la cause de l'erreur a été corrigée par ce traitement

Ordre des blocs catch

- L'ordre des blocs catch est important à cause de l'héritage entre les classes d'exceptions
 - ▶ Il faut placer les sous-classes avant leur classe parent
- Sinon, le compilateur génère une erreur

```
// ordre incorrect
try {
    this.engine.start();
} catch (Exception e) {
    // capture Exception et
    // ses sous-classes
    ...
} catch (EngineException e) {
    // erreur, EngineException
    // déjà capturee
    ...
}
```

```
// ordre correct
try {
    this.engine.start();
} catch (EngineException e) {
    ...
} catch (Exception e) {
    // capture Exception
    // et ses sous-classes
    ...
}
```

Relancer une exception

- Une exception peut être partiellement traitée, puis relancée

```
try {  
    this.engine.start();  
} catch (EngineException e) {  
    ... // traitement partiel de l'exception  
    throw e; // relance l'exception  
}
```

- Il est également possible de relancer une exception d'un autre type
 - ▶ Cette dernière ayant l'exception originale comme cause

```
try {  
    this.engine.start();  
} catch (EngineException e) {  
    throw new RuntimeException(...);  
}
```

Trace d'appels

- Une exception est remplie avec une trace d'appels de la pile d'exécution (*stack trace*)

Exception in thread "main" EngineException:

at Engine.start(Engine.java:5)

at Car.start(Car.java:17)

at Car.main(Car.java:22)

- ▶ Spécifie où l'objet exception a été créé, mais pas où il a été lancé
 - ★ La méthode `printStackTrace()` affiche la localisation de la création de l'instance
 - ★ Pour mettre à jour la pile d'appels d'une exception pré-existante (e.g., pour relancer une exception), utiliser la méthode `fillInStackTrace()`

```
try {
    this.engine.start();
} catch (EngineException e) {
    ... // traitement partiel de l'exception
    e.fillInStackTrace(); // maj de la pile d'appels
    throw e; // relance l'exception
}
```

- ▶ Le mieux est de créer l'exception juste au moment où elle est levée

Exceptions vérifiées (*checked exceptions*) (1)

- N'importe quelle sous-classe d'Exception qui ne dérive pas de RuntimeException
- Une exception peut être traitée directement par la méthode dans laquelle elle est levée, mais elle peut aussi être envoyée à la méthode appelante, car la méthode ne souhaite pas ou ne peut pas la traiter
- Dans ce cas, les méthodes doivent déclarer quels types d'exception vérifiée elles lèvent, en utilisant le mot clé `throws`
- Javadoc : tags `@exception`, `@throws`

```

public void start() throws OutOfFuelException ,
                               EngineException {
    if ( this.getFuelQuantity() == 0) {
        throw new OutOfFuelException("demarrage de la
        voiture impossible , pas de carburant");
    }
    this.engine.start(); // peut lever des exceptions
                        // de type EngineException
}

```

Exceptions vérifiées (*checked exceptions*) (2)

- Le compilateur Java vérifie le code de la méthode par rapport aux spécifications
 - ▶ Un autre aspect de Java pour imposer la correction de programme
 - ▶ Force les programmes à traiter les exceptions, ou à explicitement déclarer ce qui pourrait être lancé
- Si une exception de type `OutOfFuelException` ou `EngineException` est levée durant l'exécution de `start()`, l'exception sera envoyée à la méthode appelant `start()`, qui devra la traiter

```
public static void main(String[] args) {  
    Car c = new Car (...);  
    try {  
        c.start();  
        c.move(88);  
    } catch (OutOfFuelException e) { ... }  
    } catch (EngineException e) { ... }  
}
```

Exceptions vérifiées (*checked exceptions*) (3)

- Une méthode peut spécifier une classe de base de ce qu'elle lève

```
public void start() throws OutOfFuelException ,
                               EngineException {
    ...
}
```

- ▶ Toutes ces exceptions dérivent de la classe `EngineException`

- ★ `EngineOilException` : niveau d'huile moteur insuffisant
- ★ `CoolantException` : surchauffe du moteur
- ★ *etc.*

- ▶ La méthode `start()` pourrait également les lever sans changer sa spécification d'exception

- Un code peut aussi capturer le type de la classe de base

```
try { ... } catch ( EngineException e) { ... }
```

- ▶ Capture et traite toutes les exceptions ci-dessus
- ▶ Traitement global

throws et sous-classes

- Problème non détecté à la compilation

```

public void start() throws OutOfFuelException ,
                               EngineException {
    if ( this.getFuelQuantity() == 0) {
        throw new OutOfFuelException("demarrage de la
        voiture impossible , pas de carburant");
    }
    try {
        this.engine.start();
    } catch (Exception e) { // capture Exception
        ...                // et ses sous-classes
    }
}

```

- Cette méthode ne lèvera jamais d'exception de type EngineException car cette sous-classe d'Exception est déjà capturée

Exceptions et redéfinition de méthode

- Lors de la redéfinition d'une méthode, la signature doit être rigoureusement la même que celle de la classe parent, jusqu'aux exceptions !
- Toutefois, il est possible d'affiner les exceptions levées par la méthode par des sous-classes des exceptions originales

```

public class EngineException extends Exception { ... }
public class RaceCarEngineException extends EngineException { ... }
public class Car {
    public void start() throws EngineException { ... }
}
public class RaceCar extends Car {
    public void start() throws RaceCarEngineException { ... }
}
...
Car c = new RaceCar(...);
try { c.start(); }
catch(RaceCarEngineException e) { ... } // attention a l'ordre
catch(EngineException e) { ... } // de capture des exceptions

```

Exceptions non vérifiées (*unchecked exceptions*)

- Certaines exceptions sont levées implicitement par la machine virtuelle
 - ▶ `NullPointerException`, `ArrayIndexOutOfBoundsException`, `ArithmeticException`, *etc.*
- Les exceptions non vérifiées héritent de `RuntimeException`
 - ▶ Elles n'ont pas besoin d'être obligatoirement capturées
 - ▶ Elles n'ont pas besoin d'être déclarées avec l'instruction `throws`
 - ▶ Elles ne sont pas censées être lancées par une méthode codée et utilisée correctement
- Sans ce type d'exception, il faudrait déclarer `throws ArrayIndexOutOfBoundsException` chaque fois qu'une méthode utilise un tableau, ou encore `throws NullPointerException` chaque fois qu'un objet accède à ses membres

Exceptions et API Java

- La documentation de l'API Java indique quelles exceptions sont levées et aussi quand elles sont levées
- Les bibliothèques d'entrées/sorties et de réseau peuvent lever beaucoup d'exceptions
- C'est toujours très important de traiter proprement les exceptions, afin de rendre les applications robustes !

Cloner des objets

- Comment dupliquer un objet pour avoir deux versions de cet objet susceptibles d'évoluer différemment ?
 - ▶ Constructeur par copie
 - ▶ Méthode `clone()` de la classe `Object`
 - ▶ L'appel de la méthode `clone()` est résolue dynamiquement (cf. polymorphisme), contrairement au constructeur par copie

Méthode clone

```
protected Object clone() throws CloneNotSupportedException {
    ...
}
```

- Réserve de l'espace mémoire : copie bit à bit
 - ▶ C'est la référence des attributs qui est copiée
 - ▶ Copie superficielle
- `protected`

```
...
Car c = new Car(...);
Car clone = (Car) c.clone(); //illegal, clone() non accessible
```

- Type de retour `Object` : *downcast*
- Exception de type `CloneNotSupportedException` levée si la classe de l'objet à cloner n'implémente pas l'interface `Cloneable`

Interface Cloneable

- Pour permettre le clonage des objets, la classe doit implémenter l'interface `Cloneable`
 - ▶ Permet de typer les objets clonables (test avec `instanceof`)
 - ▶ Permet aux développeurs d'avoir des classes d'objets non clonables
 - ★ `Object.clone()` vérifie si la classe implémente `Cloneable`
- Déclarer public la méthode `clone()`
- Appeler systématiquement `super.clone()`

```
public class Car extends MotorVehicle implements Cloneable {
    ...
    public Object clone() throws CloneNotSupportedException {
        Car clone = (Car) super.clone(); // downcast
        ...
        return clone;
    }
}
```

Copie superficielle vs profonde des références

```
// copie profonde
public Object clone() throws CloneNotSupportedException {
    Car clone = (Car) super.clone(); // downcast
    clone.engine = new Engine(this.engine); // constructeur
                                           // par recopie
    // ou utiliser clone() sur engine s'il est clonable
    ...
    return clone;
}

...
public static void main(String[] args) {
    Car c = new Car(...);
    Car clone = null;
    try {
        clone = (Car) c.clone();
    } catch (CloneNotSupportedException e) { }
    S.o.p("Meme_moteur?_" + (c.engine == clone.engine));
}
```

Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections**
- 8 Types génériques

Collections

- Ensemble très puissant de classes pour gérer des collections d'objets
 - ▶ Introduit dans Java 1.2
- Fournit :
 - ▶ Des interfaces spécifiant différents types de collections
 - ▶ Des implémentations avec différentes caractéristiques
 - ▶ Des itérateurs pour parcourir le contenu d'une collection
 - ▶ Certains algorithmes courants pour des collections
- Très utile, mais loin de la puissance et de la flexibilité de la bibliothèque C++ STL (*Standard Template Library*)

Pourquoi fournir des classes de collection ?

- Réduire les efforts de programmation
 - ▶ La plupart des programmes ont besoin de collections quelconques
 - ▶ Rend le langage plus attrayant pour le développement
- Avoir des interfaces et des fonctionnalités standardisées
 - ▶ Réduit les besoins d'apprentissage
 - ▶ Facilite l'interopérabilité entre les différentes API
- Faciliter le développement de programmes rapides et correctes
 - ▶ L'API Java fournit aux programmeurs des implémentations efficaces et correctes à utiliser

Interfaces de collection (1)

- Les interfaces de collection sont définies dans le *package* `java.util`
 - ▶ Elles définissent des fonctionnalités de base pour chaque type de collection
- `Collection` : "sac d'objets" générique
 - ▶ Elle définit le contrat des collections
- `List` : séquence linéaire d'éléments, accessibles par index
- `Queue` : séquence linéaire d'éléments "pour traitement" (file)
 - ▶ *First In, First Out (FIFO)*
 - ▶ Opérations :
 - ★ Ajouter un élément à la file (*enqueue*)
 - ★ Obtenir le prochain élément de la file et le retirer (*dequeue*)
 - ★ Ce qu'est le prochain élément dépend de l'implémentation de la file
- `Stack` : pile d'éléments
 - ▶ *Last In, First Out (LIFO)*
- `Set` : collection sans élément en double
- `Map` : tableau associatif/dictionnaire/table d'association
 - ▶ Valeurs associées à des clés uniques

Interfaces de collection (2)

- Quelques interfaces de collection de plus :
 - ▶ SortedSet (étend Set)
 - ▶ SortedMap (étend Map)
- Elles garantissent l'itération des éléments dans un ordre particulier
- Cela nécessite que les éléments soient comparables
 - ▶ Il faut être capable de dire qu'un élément est "inférieur" ou "supérieur" à un autre élément
 - ▶ Il faut donc fournir un ordre total sur les éléments de la collection

Opérations courantes sur les collections

- Les collections fournissent typiquement ces opérations :
 - ▶ `add(Object o)` : ajoute un objet à la collection
 - ▶ `remove(Object o)` : supprime l'objet de la collection (une seule instance), s'il est présent
 - ▶ `clear()` : supprime tous les objets de la collection
 - ▶ `contains(Object o)` : retourne vrai si la collection contient l'objet
 - ▶ `size()` : retourne le nombre d'objets de la collection
 - ▶ `isEmpty()` : retourne vrai si la collection est vide, faux sinon
 - ▶ `iterator()` : retourne un itérateur pour parcourir le contenu de la collection
- Certaines opérations sont optionnelles (e.g., `add` et `remove`)
 - ▶ Une exception de type `UnsupportedOperationException` est levée si l'opération n'est pas supportée par une implémentation spécifique
- Certaines opérations sont plus lentes/rapides selon l'implémentation de la collection utilisée

Implémentations de collection

- Il existe plusieurs implémentations de chaque interface
 - ▶ Toutes fournissent les mêmes fonctionnalités de base
 - ★ Différents besoins de stockage
 - ★ Différentes caractéristiques de performance
 - ▶ Et parfois également d'autres améliorations
 - ★ Par exemple, des opérations supplémentaires ne faisant pas partie de l'interface
- La documentation de l'API Java donne les détails !
 - ▶ Voir la liste des implémentations des interfaces
 - ▶ Lire la documentation des implémentations pour les détails de stockage et de performance

Implémentations de List

- **LinkedList** : liste doublement chaînée
 - ▶ Chaque nœud a une référence vers les nœuds précédent et suivant
 - ▶ Indexation d'élément (*i.e.*, accès aux éléments) en temps linéaire
 - ▶ Insertion d'un élément en début/milieu/fin de liste en temps constant
 - ▶ Les nœuds utilisent de l'espace supplémentaire (références des nœuds précédent/suivant, *etc.*)
 - ▶ Cette classe a des méthodes supplémentaires pour obtenir/supprimer le premier/dernier élément
 - ▶ Il est préférable de l'utiliser lorsque la liste augmente/diminue fréquemment au fil du temps (*i.e.*, s'il y a de nombreuses insertions et suppressions dans la liste)
- **ArrayList** : stocke les éléments dans un tableau
 - ▶ Indexation d'élément en temps constant
 - ▶ Insertion d'un élément en fin de liste généralement en temps constant
 - ▶ Insertion d'un élément en début/milieu de liste en temps linéaire
 - ▶ Cette classe a des méthodes supplémentaires pour se transformer en un simple tableau
 - ▶ Il est préférable de l'utiliser lorsque la liste ne change pas beaucoup au fil du temps et s'il y a de nombreux accès directs (indicés)

Méthodes supplémentaires d'une liste

- Dans une liste les éléments sont ordonnés, la notion de position a donc un sens
 - ▶ `add(int index, Object o)` : ajoute l'objet à l'`index`-ième position de la liste
 - ▶ `get(int index)` : retourne l'élément à l'`index`-ième position de la liste
 - ★ Une `IndexOutOfBoundsException` est levée si l'`index` est inférieur à zéro ou supérieur ou égal au nombre d'éléments dans la liste
 - ▶ `remove(int index)` : supprime l'élément à l'`index`-ième position de la liste
 - ★ Même exception levée
 - ▶ `indexOf(Object o)` : retourne l'index de la première occurrence de l'objet dans la liste, -1 s'il est absent

Implémentations de Set

- HashSet

- ▶ Les éléments sont regroupés dans des *buckets* (paires clé-valeur) fondé sur un code de hachage
- ▶ Ajout et suppression d'un élément en temps constant
- ▶ Test d'appartenance en temps constant
- ▶ Les éléments ne sont pas stockés dans un ordre particulier
- ▶ Les éléments doivent fournir une fonction de hachage

- TreeSet

- ▶ Les éléments sont conservés dans un ordre trié
 - ★ Ils sont stockés en interne dans un arbre équilibré
- ▶ Ajout et suppression d'un élément en temps logarithmique
- ▶ Test d'appartenance en temps logarithmique
- ▶ Les éléments doivent être comparables

Implémentations de Map

- Très similaires aux implémentations de Set
 - ▶ Ce sont des conteneurs associatifs
 - ▶ Les clés sont utilisées pour accéder aux valeurs stockées dans les tableaux associatifs
 - ▶ Chaque clé n'apparaît qu'une seule fois
 - ★ Pas de multi-ensemble/multi-tableau associatif dans les collections Java
- HashMap
 - ▶ Les clés sont hachées
 - ▶ Ajout et accès en temps constant
 - ▶ Recherches rapides, mais ordre aléatoire
- TreeMap
 - ▶ Les clés sont triées
 - ▶ Ajout et accès en temps logarithmique
 - ▶ Recherches plus lentes, mais conservées dans un ordre trié par clé

Méthodes d'un tableau associatif

- `get(Object key)` : récupère la valeur associée à la clé
- `put(Object key, Object value)` : ajoute une paire clé-valeur
- `remove(Object key)` : supprime la paire associée à la clé
- `containsKey(Object key)` : teste l'existence d'une clé
- `containsValue(Object value)` : teste l'existence d'une valeur
- `values()` : retourne une `Collection` des valeurs
- `keySet()` : retourne un `Set` des clés
- `entrySet()` : retourne un `Set` des paires clé-valeur (objets de type `Map.Entry`)

Collections et types génériques

- Jusqu'à Java 1.4, les collections stockaient uniquement des Object

```
LinkedList cars = new LinkedList();  
cars.add(new Car(...));  
Car c = (Car) cars.get(0);
```

- ▶ Transtyper tout systématiquement devient vite pénible
- ▶ Des objets non-Car peuvent aussi être ajoutés à la collection cars

- Java 1.5 introduit les types génériques

- ▶ Une classe ou une interface peut prendre d'autres types comme paramètres

```
LinkedList<Car> cars = new LinkedList<Car>();  
cars.add(new Car(...));  
Car c = cars.get(0);
```

- ▶ Le paramètre représente le type des éléments de la collection
- ▶ Plus besoin de transtyper
- ▶ Uniquement des objets Car peuvent être ajoutés à cars
- ▶ Sucre syntaxique, mais très utile!

Utiliser des collections

- Les listes et les ensembles sont faciles à utiliser :

```
Set<String> drivers = new HashSet<String>();  
List<Car> cars = new LinkedList<Car>();
```

- ▶ Le type d'élément doit apparaître à la fois dans la déclaration de la variable et dans l'expression du **new**

- Les tableaux associatifs sont plus verbeux :

```
Map<String , Car> competition = new TreeMap<String , Car>();
```

- ▶ Le premier type est le type de la clé, le second est le type de la valeur

- Java 7 introduit une syntaxe simplifiée :

```
Map<String , Car> competition = new TreeMap<>();
```

- ▶ Les paramètres pour l'instanciation sont déduites de la variable

- S'il n'y pas d'obligation sur le choix d'implémentation d'une collection, utiliser l'*upcast* vers l'interface associée à la collection afin de faciliter le changement de choix d'implémentation

Itération sur les collections

- Souvent, nous voulons itérer sur les valeurs d'une collection
- Exemple avec une `ArrayList` :

```
List<String> drivers = new ArrayList<String>();
```

```
...
```

```
for (int i = 0; i < drivers.size(); i++)  
    System.out.println(drivers.get(i));
```

- ▶ Impossible/indésirable pour d'autres collections !
- ▶ Temps d'exécution pour une `LinkedList` ?
- Les itérateurs sont utilisés pour parcourir le contenu des collections
- `Iterator` est une interface simple
 - ▶ `hasNext()` : retourne vrai s'il est possible d'appeler `next()`
 - ▶ `next()` : retourne le prochain élément de la collection
 - ▶ `remove()` : supprime de la collection le dernier élément retourné par l'itérateur
- `ListIterator` étend `Iterator`
 - ▶ Elle offre de nombreuses caractéristiques supplémentaires (e.g., parcours avant/arrière, opérations d'ajout/modification des éléments)

Utiliser des itérateurs

- Les collections fournissent une méthode `iterator()`
 - ▶ Elle retourne un itérateur pour parcourir la collection

```
Set<Car> cars;
```

```
...
```

```
Iterator<Car> it = cars.iterator();
```

```
while (it.hasNext()) {
```

```
    Car c = it.next();
```

```
    ... // Faire quelque chose avec c
```

```
}
```

- ▶ Les itérateurs utilisent aussi les types génériques
 - ▶ Un itérateur peut être utilisé pour supprimer l'élément courant, etc.
- Les itérateurs sont *fail-fast* : si après la création de l'itérateur la collection associée est modifiée (autrement que par les méthodes `add` et `remove` de l'itérateur), alors l'itérateur lève une `ConcurrentModificationException`
 - ▶ Rupture possible du contrat de l'itérateur
 - ▶ Donc échec rapide et propre plutôt que de risquer une incohérence

Collections et boucle for

- Définir et utiliser un itérateur est pénible
- Java 1.5 a introduit du sucre syntaxique pour parcourir une collection :

```
for (Car c : cars) {  
    ... // Faire quelque chose avec c  
}
```

- ▶ Il n'est pas possible d'accéder à l'itérateur utilisé dans la boucle
 - ▶ Il est préférable de l'utiliser pour effectuer des balayages simples sur le contenu d'une collection
- Cette syntaxe peut aussi être utilisée avec les tableaux et toutes les classes implémentant l'interface `Iterable<T>`
 - ▶ `public Iterator<T> iterator()`

Parcourir un tableau associatif (1)

- Un tableau associatif n'est pas une Collection
 - ▶ Pas d'itérateur

```
Map<Driver , Car> competition = new ...;
...
Set<Driver> drivers = competition.keySet();
Iterator<Driver> it = drivers.iterator();
while (it.hasNext()) {
    Driver d = it.next();
    S.o.p(d + "└conduit└une└" + competition.get(d));
}
// ou plus simplement
for(Driver d : competition.keySet()) {
    S.o.p(d + "└conduit└une└" + competition.get(d));
}
```

Parcourir un tableau associatif (2)

- En manipulant les paires `Map.Entry`

```

Map<Driver , Car> competition = new ...;
...
Set<Map.Entry<Driver , Car>> set = competition.entrySet();
Iterator<Map.Entry<Driver , Car>> it = set.iterator();
while (it.hasNext()) {
    Map.Entry<Driver , Car> e = it.next();
    S.o.p(e.getKey() + "└conduit└une└" + e.getValue());
}
// ou plus simplement
for (Map.Entry<Driver , Car> e : competition.entrySet()) {
    S.o.p(e.getKey() + "└conduit└une└" + e.getValue());
}

```

Algorithmes de collection

- La classe `java.util.Collections` offre certains algorithmes courants
 - ▶ À ne pas confondre avec l'interface `Collection`
 - ▶ Les algorithmes sont fournis sous forme de méthodes statiques
 - ▶ Les implémentations sont rapides, efficaces et génériques
- Exemple : tri

```
List<Car> cars = new ...;  
...  
Collections.sort(cars);
```

- ▶ La collection est triée sur place : `cars` est modifiée
- Lire la documentation de l'API Java pour plus de détails
 - ▶ e.g., min/max, renverser une collection...
 - ▶ Voir aussi la classe `Arrays` pour les algorithmes de tableau

Éléments de collection

- Les éléments de collection peuvent nécessiter certaines capacités
- Les éléments de `List` n'ont besoin de rien de spécial
 - ▶ Sauf si les méthodes `contains()`, `remove(...)`, *etc.* sont utilisées!
 - ▶ Les éléments doivent alors fournir une implémentation correcte de la méthode `equals(Object)`

Éléments de Set, clés de Map

- Les ensembles et les tableaux associatifs nécessitent des caractéristiques spéciales
 - ▶ Les ensembles nécessitent ces caractéristiques sur les éléments de l'ensemble
 - ▶ Les tableaux associatifs nécessitent ces caractéristiques sur les clés
- La méthode `equals()` doit absolument fonctionner correctement
- `TreeSet` et `TreeMap` nécessitent des capacités de tri
 - ▶ La classe des éléments ou des clés doit implémenter l'interface `java.lang.Comparable`
 - ▶ Ou une implémentation appropriée de `java.util.Comparator` doit être fournie
- `HashSet` et `HashMap` nécessitent des capacités de hachage
 - ▶ Le code de hachage des éléments ou des clés est utilisée pour retrouver rapidement les éléments ou les clés sans parcourir toute la structure
 - ★ Par défaut, c'est la valeur de la référence
 - ▶ La méthode `equals(Object)` est utilisée pour gérer les collisions (*i.e.*, 2 éléments ou 2 clés avec le même code de hachage)
 - ▶ La classe des éléments ou des clés doivent fournir une bonne implémentation de la méthode `hashCode()`

Méthode hashCode()

- La classe `Object` définit une méthode `hashCode()`
 - ▶ `public int hashCode()`
 - ▶ Elle calcule un code de hachage fondé sur les valeurs de l'objet
 - ▶ Elle est utilisée par `HashSet`, `HashMap`, etc.
- Règle 1 :
 - ▶ Si `a.equals(b)` alors leur code de hachage doit être le même
 - ▶ Deux objets non-égaux peuvent avoir le même code de hachage
 - ★ Avoir le même code de hachage signifie juste qu'ils pourraient être égaux
- Règle 2 :
 - ▶ Si la méthode `equals` est redéfinie dans une classe alors la méthode `hashCode()` devrait aussi être redéfinie!
 - ▶ (Voir règle 1)

Implémenter la méthode `hashCode()` (1)

- Est-ce une implémentation correcte ?

```
public int hashCode() {  
    return 42;  
}
```

- ▶ Elle satisfait les règles, donc techniquement oui...
- ▶ En pratique, cela rendra les programmes très inefficaces
- La fonction de hachage devrait générer une large gamme de valeurs
 - ▶ Spécifiquement, elle devrait produire une distribution uniforme des valeurs dans les *buckets*
 - ▶ Elle facilite le fonctionnement efficace des tables de hachage
 - ▶ La condition nécessaire est que les objets égaux doivent produire des valeurs de hachage identiques
 - ▶ C'est bien aussi si des objets inégaux produisent des valeurs de hachage différentes

Implémenter la méthode hashCode() (2)

- Si un attribut est inclus dans la comparaison equals, il devrait aussi être inclus dans le code de hachage
- Combiner des valeurs individuelles dans un code de hachage :

@Override

```
public int hashCode() {  
    int result = 17; // Un certain nombre premier  
    // Utiliser un autre nombre premier pour combiner  
    result = 37 * result + field1.hashCode();  
    result = 37 * result + field2.hashCode();  
    ...  
    return result;  
}
```

Implémenter la méthode `hashCode()` (3)

- Si l'attribut est un booléen, utiliser 0 ou 1 pour le code de hachage
- Si l'attribut est de type `Integer`, transtyper la valeur vers `int`
- Si l'attribut est un objet :
 - ▶ Appeler la méthode `hashCode()` de l'objet, ou utiliser 0 pour `null`
- Si l'attribut est un tableau :
 - ▶ Inclure chaque élément du tableau dans la valeur de hachage finale
- Si le calcul de la valeur de hachage est coûteuse, la mettre en cache
 - ▶ Il faut recalculer la valeur de hachage si l'objet est modifié!

Illustration (1)

- Idem avec HashSet

```

Map<String , Car> m = new HashMap<String , Car>();
m.put("McFly", new Car("DeLorean", "DMC-12"));
m.put("Venkman", new Car("Cadillac", "Miller-Meteor"));
m.put("McFly", new Car("DeLorean", "DMC-12"));
for(String s : m.keySet())
    System.out.println(s + " conduit une " + m.get(s));
// Affiche :
// McFly conduit une DeLorean DMC-12
// Venkman conduit une Cadillac Miller-Meteor

```

Illustration (2)

```

public class Driver {
    private String name;
    public Driver(String name) { this.name = name; }
    public String toString() { return this.name; }
}

...
Map<Driver , Car> m = new HashMap<Driver , Car>();
m.put(new Driver("McFly"), new Car("DeLorean", "DMC-12"));
m.put(new Driver("Venkman"), new Car("Cadillac", "Miller-Meteor"));
m.put(new Driver("McFly"), new Car("DeLorean", "DMC-12"));
for(Driver d : m.keySet())
    System.out.println(d + " conduit une " + m.get(d));
// Affiche :
// McFly conduit une DeLorean DMC-12
// Venkman conduit une Cadillac Miller-Meteor
// McFly conduit une DeLorean DMC-12

```

Illustration (3)

```

public class Driver {
    private String name;
    public Driver(String name) { this.name = name; }
    public String toString() { return this.name; }
    public boolean equals(Object o) { return (o instanceof
        Driver) && this.name.equals(((Driver) o).name); }
    public int hashCode() { return this.name.hashCode(); }
}

...
Map<Driver , Car> m = new HashMap<Driver , Car>();
m.put(new Driver("McFly"), new Car("DeLorean", "DMC-12"));
m.put(new Driver("Venkman"), new Car("Cadillac", "Miller-Meteor"));
m.put(new Driver("McFly"), new Car("DeLorean", "DMC-12"));
for(Driver d : m.keySet())
    System.out.println(d + " conduit une " + m.get(d));
// Affiche :
// McFly conduit une DeLorean DMC-12
// Venkman conduit une Cadillac Miller-Meteor

```


Au menu

- 1 Introduction
- 2 Éléments syntaxiques de base
- 3 Classes et objets
- 4 Interfaces
- 5 Héritage
- 6 Exceptions
- 7 Collections
- 8 Types génériques**

Collections de type Object (1)

- Jusqu'à Java 1.4, les collections stockaient uniquement des Object
- Exemple pour les listes :

```
public interface List extends Collection {  
    void add(Object obj);  
    Object get(int index);  
    void set(int index, Object obj);  
    ...  
}
```

Collections de type Object (2)

```
// Ce code compile sans erreur
List cars = new ArrayList();
cars.add(new Car(...));
Car c = (Car) cars.get(0);
cars.add(new Motorcycle(...)); // S'exécute sans erreur
Car mc = (Car) cars.get(1); // Lève une exception
```

- Problèmes :

- ▶ Les collections pouvaient contenir n'importe quel objet
- ▶ Il fallait transtyper systématiquement les éléments de la collection pour pouvoir utiliser les méthodes qui n'étaient pas dans la classe Object
- ▶ Certaines erreurs ne pouvaient être repérées qu'à l'exécution, et pas à la compilation
 - ★ Si un élément dans la collection n'est pas du type attendu, une exception de type `ClassCastException` est levée

- Le plus souvent, une collection d'éléments ne contient qu'un seul type d'élément (e.g., une liste de voitures, une liste de chaînes de caractères...)
- Comment faire pour représenter des collections d'un type particulier ?

Solution irréaliste : la spécialisation

- Pour éviter les transtypages et vérifier les types à la compilation, il fallait écrire une interface par type d'éléments que la collection pouvait contenir

```
public interface CarList {  
    void add(Car element);  
    Car get(int index);  
    ...  
}  
  
public interface StringList {  
    void add(String element);  
    String get(int index);  
    ...  
}
```

- ▶ Ce qui revenait à écrire plusieurs fois la même chose, en changeant seulement les types
- ▶ Et à perdre le polymorphisme
 - ★ Rappel : la signature des méthodes n'inclut pas le type de retour

Types génériques

- Java 1.5 introduit les types génériques
- Ils permettent de définir des interfaces ou des classes paramétrées par un ou plusieurs types de données

```
public interface List<E> {
    void add(E element);
    E get(int index);
    void set(int index, E element);
    ...
}
```

```
public interface Map<K, V> { ... }
```

- ▶ List<E> est une interface générique permettant de définir des listes génériques, c'est-à-dire capables de contenir des éléments d'un type particulier
- ▶ E est un paramètre de type de cette interface
 - ★ Il s'agit d'une variable (de type !) représentant le type des éléments de la liste
 - ★ Il peut être utilisé pour indiquer le type d'une variable, d'un paramètre ou d'une valeur de retour d'une méthode

Utiliser les types génériques

- Spécifier le type concret à utiliser pour le paramètre de type

```
List<Car> cars = new ArrayList<Car>();
cars.add(new Car(...));
Car c = cars.get(0); // aucun transtypage
cars.add(new Motorcycle(...)); // erreur à la compilation
```

- ▶ List<Car> est une instantiation du type générique List<E>
- ▶ De même, ArrayList<Car> est une instantiation de la classe générique ArrayList<E>
 - ★ C'est une classe paramétrée concrète dont l'argument de type est Car
- ▶ Tous les éléments de la liste cars sont de type Car
- ▶ Il est toujours possible d'obtenir une liste hétérogène en utilisant List<Object>

- Avantages :

- ▶ Code réutilisable pour des objets de types différents sans avoir à le répéter plusieurs fois (programmation générique)
- ▶ Code plus sûr en vérifiant le typage dès la compilation
- ▶ Code plus facile à lire en évitant les transtypages

Méthodes génériques

- Plutôt que de rendre toute une classe générique, il est possible de paramétrer une méthode avec un ou plusieurs types de données
- Une méthode générique peut être incluse dans une classe non générique ou dans une classe générique (si elle utilise des paramètres de type autres que ceux de la classe)
- Le paramètre de type est déclaré avant le type de retour de la méthode

```
public <E> void foo(List<E> l) {  
    Iterator<E> it = l.iterator();  
    while (it.hasNext()) {  
        E current = it.next();  
        ...  
    }  
}
```

Utiliser des méthodes génériques

- Une méthode générique est appelée en la préfixant par les types qui doivent remplacer les paramètres de type

```
List<Car> cars = ...;
```

```
...
```

```
<Car>foo(cars);
```

```
ou
```

```
Bar.<Car>foo(cars); // si foo est une methode statique  
                  // de la classe Bar
```

- Le plus souvent, le compilateur peut déduire les types d'après le contexte d'appel de la méthode

```
List<Car> cars = ...;
```

```
...
```

```
foo(cars);
```

- ▶ Inutile de préfixer par le type Car

Auto-(un)boxing

- Jusqu'à Java 1.4, il n'était pas possible de stocker une valeur de type primitif dans une Collection, puisqu'elle pouvait uniquement stocker des références à des Object
- Java 1.5 introduit l'*auto-boxing* afin qu'il n'y ait plus de différences entre les types primitifs et leur équivalent objet
 - ▶ Lorsque le code attend d'un Integer, mais a un int, il crée automatiquement l'Integer à la volée à partir du int
 - ▶ Dans l'autre direction (*i.e.*, l'*auto-unboxing*), lorsque le code a un Integer mais attend un int, il appelle automatiquement la méthode intValue() sur l'Integer pour obtenir le int
- Cela marche avec tous les types primitifs : int, char, double, etc.
- Cela marche particulièrement bien avec les collections génériques, du fait que le type de la collection indique le type de ses éléments

```
List<Integer> l = ...  
l.add(new Integer(22));  
l.add(17);  
int x = l.get(0);
```

Attention

- L'*auto-unboxing* ne marche pas correctement avec `==` et `!=`

```
List<Integer> l1 = ...;
```

```
List<Integer> l2 = ...;
```

```
...
```

```
if (l1.get(0) == l2.get(0)) ...
```

- ▶ Pas d'*auto-unboxing*
 - ▶ À la place, comparaison entre les deux références `Integer`
 - ▶ Utiliser `l1.get(0).intValue() == l2.get(0).intValue()` pour forcer la conversion vers `int`, ou `l1.get(0).equals(l2.get(0))`
- Ainsi, on reste compatible avec la définition originale du `==`

Types *raw*

- Pour des raisons de compatibilité, Java a gardé les anciens types non génériques (e.g., `List`), appelés types *raw*

```
List rawList = new ArrayList();  
List<Car> cars = new ArrayList<Car>();  
rawList = cars;  
cars = rawList; // unchecked warning
```

- ▶ Le compilateur Java compile ce code sans erreur, mais émet un *warning*
- Il est préférable de toujours utiliser les types génériques pour améliorer la sûreté des programmes

Effacement de type (*type erasure*)

- Le paramètre de type est présent uniquement à la compilation, après quoi il est effacé et remplacé par `Object` par le compilateur Java
 - ▶ Actions effectuées par le compilateur :
 - ★ Vérification du typage (en prenant en compte les paramètres de type)
 - ★ Remplacement des types paramétrés par les types *raw* correspondant
 - ★ Remplacement des paramètres de type par des types `Object`
 - ★ Ajouts de transtypages si nécessaire
 - ▶ Différence avec les *templates* C++ qui produisent de nouvelles classes
- Le paramètre de type n'est donc plus disponible à l'exécution
 - ▶ Une `ArrayList<Car>` devient en fait juste une `ArrayList<Object>`
 - ▶ Tous les transtypages sont dans tous les cas vérifiés à l'exécution
 - ★ `Car c = cars.get(0)` vérifie à l'exécution qu'il s'agit bien d'une référence à un `Car`
 - ▶ Les choses qui nécessitent le paramètre de type à l'exécution ne marchent pas :
 - ★ `if (o instanceof T) // interdit`
 - ★ `T var = new T(); // interdit`
 - ★ `T[] array = new T[10]; // interdit`
 - ★ `T tmp = (T) x; // warning : transtypage non vérifié`
- Java permet ainsi de mélanger types génériques et types *raw*

Typage des types génériques

- Puisque que `ArrayList<E>` implémente `List<E>`, `ArrayList<E>` est un sous-type de `List<E>`
 - ▶ `ArrayList<Car>` est un sous-type de `List<Car>`
- Mais attention, si B hérite de A, les classes `ArrayList<A>` et `ArrayList` n'ont aucun lien de sous-typage entre elles
 - ▶ `ArrayList<RaceCar>` n'est pas un sous-type de `ArrayList<Car>`

```
List<RaceCar> cars = new ArrayList<RaceCar>(); // ok
List<Car> l1 = new ArrayList<RaceCar>(); // erreur
List<Car> l2 = cars; // idem : types incompatibles
```

- ▶ `List<Car>` ne signifie pas "n'importe quelle liste tant qu'elle contient des voitures", mais bien une liste de `Car`

Démonstration par l'absurde

- Si `ArrayList` était un sous-type de `ArrayList<A>`, le code suivant compilerait :

```
ArrayList<A> l = new ArrayList<B>();  
l.add(new A());
```

- ▶ Quel serait le problème?
 - ▶ Ce code autoriserait l'ajout dans une `ArrayList` d'un élément qui n'est pas un `B`!
- Cela nuit évidemment beaucoup trop à la réutilisation
 - ▶ Par exemple, une méthode `sort(ArrayList<Car> cars)` ne peut être appliquée à une `ArrayList<RaceCar>`
- Les types génériques avec joker (*wildcard*) `<?>` ont été ajoutés pour résoudre ce problème

Types génériques avec joker <?> (1)

- `List<Object>` n'est pas le super-type de toutes les listes
- Comment exprimer "n'importe quelle liste", c'est-à-dire le type qui réunit toutes les listes?
 - ▶ `List<?>` = liste d'inconnus
 - ▶ Aucune supposition à propos du type des éléments de la liste
 - ▶ Seule garantie : ce sont des `Object`
- Le paramètre de type <?> est comme <E>, mais en un peu plus simple
 - ▶ Même pas un nom
 - ▶ <?> n'est pas à lister avant le type de retour d'une méthode générique
 - ▶ ? ne peut pas être utilisé pour déclarer des variables, des paramètres ou le type de retour d'une méthode, utiliser `Object` à la place
- Parfois, le paramètre de type <?> est un peu trop "large"
 - ▶ Besoin de le restreindre
 - ▶ Comment exprimer "une liste de n'importe quoi du moment que c'est un `Car`", c'est-à-dire du moment que c'est un sous-type de `Car`?
 - ★ `List<? extends Car>` = liste d'objets dont `Car` est le super-type
 - ▶ Il existe `super` pour réclamer un type plus général

Types génériques avec joker <?> (2)

- <?> désigne un type inconnu
- <? extends E> désigne un type inconnu qui est E ou un sous-type de E
- <? super E> désigne un type inconnu qui est E ou un super-type de E
- Remarques :
 - ▶ E contraint le joker (*i.e.*, impose une contrainte sur le type inconnu)
 - ▶ E peut être une classe, une interface, ou même un paramètre de type
 - ▶ Un seul type à la suite de extends ou de super
- Ils peuvent être utilisés dans une classe générique ou non pour la déclaration de variables, paramètres et valeurs de retour des méthodes
- Mais pas pour créer des objets, ni indiquer le type des éléments d'un tableau au moment de sa création

```
List<? extends Car> l; // ok
l = new ArrayList<? extends Car>(); // interdit
List<? extends Car>[] l1; // ok
l1 = new ArrayList<? extends Car>[10]; // interdit
List<?>[] l2 = new ArrayList<?>[10]; // ok
l2[0] = new ArrayList<Integer>();
l2[1] = new ArrayList<String>();
```


Moyen mnémotechnique

- Producteur extends, Consommateur super (PECS)
- Cas où le remplacement du type générique `T<E>` d'un paramètre par un type générique avec joker `T<? extends E>` ou `T<? super E>` permet d'étendre les utilisations d'une méthode
 - ▶ Un producteur de type `T<E>` est utilisé par la méthode pour fournir un objet de type `E`
 - ★ Appel d'une méthode qui retourne un tel objet
 - ▶ Un consommateur de type `T<E>` utilise un objet de type `E`
 - ★ Appel d'une méthode qui prend en paramètre un objet de type `E`
 - ▶ Si le paramètre de type `T<E>` est à la fois consommateur et producteur, il n'est pas possible de généraliser et il faut laisser `T<E>`
- Exemples dans classe `Collections` :
 - ▶ `static <E> void sort(List<E> l, Comparator<? super E> c)`
 - ▶ `static <E> void copy(List<? super E> l, List<? extends E> src)`
- Les types génériques avec joker permettent donc de relâcher les contraintes sur les types paramétrés pour écrire des méthodes plus réutilisables

Types génériques contraints (*bounded*)

- Lorsqu'un paramètre de type E est utilisé, on ne peut rien supposer sur le type E
 - ▶ Par exemple, si une variable ou un paramètre est déclaré de type E, aucune méthode, à part celles de la classe Object, ne peut être appelée dessus
- `<E extends E1 & E2 & E3>` indique que E doit hériter d'une classe parent et/ou implémenter une ou plusieurs interfaces
 - ▶ Si E doit hériter d'une classe parent, celle-ci doit apparaître en premier
 - ▶ E pourra être la classe parent
- Comme le but est de permettre d'appeler les méthodes d'une classe parent ou d'une interface, on peut contraindre un type par `extends` mais pas par `super` comme pour les types génériques avec joker
- La contrainte impose des conditions sur le paramètre de type et le compilateur génère une erreur si cette contrainte n'est pas satisfaite

Comparer et ordonner des objets

- Les objets implémentent l'interface `java.lang.Comparable<T>` pour leur permettre d'être ordonnés
 - ▶ `public int compareTo(T obj)`
- Cette méthode retourne une valeur qui impose un ordre :
 - ▶ Résultat < 0 signifie que `this` est plus petit que `obj`
 - ▶ Résultat $== 0$ signifie que `this` est le "même que" `obj`
 - ▶ Résultat > 0 signifie que `this` est plus grand que `obj`
- Cela définit l'ordre naturel d'une classe (*i.e.*, l'ordre de tri "usuel" ou "le plus raisonnable")
- L'ordre naturel doit être cohérent avec la méthode `equals()`
 - ▶ `a.compareTo(b)` retourne 0 seulement si `a.equals(b)` est vrai
- Il faut implémenter correctement cette interface pour utiliser `TreeSet` et `TreeMap`

```
public class Car implements Comparable<Car> {
    ...
    @Override
    public int compareTo(Car c) { ... }
}
```

Autres ordres

- Il est possible de fournir des fonctions de comparaison supplémentaires
- Utiliser un objet séparé qui implémente l'interface `java.util.Comparator<T>`
 - ▶ `public int compare(T obj1, T obj2)`
 - ▶ Java 1.8 introduit beaucoup d'autres méthodes à implémenter!
- Les collections triées et les algorithmes de tri peuvent également prendre un objet comparateur
 - ▶ Il permet le tri par toutes sortes de choses!
- Les implémentations de `Comparator` sont typiquement des classes internes (et anonymes)

```
// classe statique et interne a la classe Car
public static class CarComp implements Comparator<Car> {
    @Override
    public int compare(Car c1, Car c2) { ... }
}

...
List<Car> cars = ...;
... // remplissage de la liste
Collections.sort(cars, new Car.CarComp());
```