Programmation objet en Java

Xavier Crégut

<Prénom.Nom@enseeiht.fr>

Octobre 2010

Objectifs du cours

Les objectifs de ce cours sont :

– la programmation (orientée) objet en l'illustrant avec le langage Java ;
– l'utilisation de la notation UML (Unified Modeling Language) pour représenter l'architecture statique du système (diagramme de classes) ;
– les exceptions ;
– la programmation par contrat ;
– les interfaces graphiques (Swing) et la programmation événementielle ;
– des éléments méthodologiques.

Remarque : Même si le langage cible est Java, les concepts présentés ici peuvent être appliqués dans le cadre d'autres langages objets (C++, Eiffel, etc.).

Références

[1] Cay S. Horstmann and Gary Cornell. *Au cœur de Java 2*, volume 1 Notions fondamentales. Campus Press, 8 edition, 2008.

[2] Bruce Eckel. *Thinking in Java*. Prentice-Hall, 3 edition, 2002. `http://www.mindviewinc.com/Books/`.

[3] Joshua Bloch. *Java efficace*. Vuibert, 2002.

[4] David Flanagan. *Java en concentré*. O'Reilly, 5 edition, 2006.

[5] Mark Grand. *Patterns in Java : A Catalog of Reusable Design Patterns Illustrated with UML*, volume 1. Wiley, 2 edition, 2002.

[6] Sun. The Source for Java Technology. `http://java.sun.com`.

[7] James Gosling, Bill Joy, Guy Steele, and Gilad Bracha. *The Java Language Specification*. Addison-Wesley, 3 edition, March 2005. `http://java.sun.com/docs/books/jls/`.

[8] Bertrand Meyer. *Object-oriented software construction*. Prentice Hall, 2^{nd} edition, 1997.

[9] Pierre-Alain Muller and Nathalie Gaertner. *Modélisation objet avec UML*. Eyrolles, 2è edition, 2003.

[10] Martin Fowler. *UML 2.0*. CampusPress Référence, 2004.

[11] OMG. UML Resource Page. http ://www.omg.org/uml/.

Plan du cours

Approche objet : Exemple introductif

Exercice 1 : Équation du second degré

Comment résoudre (afficher les solutions de) l'équation du second degré :

– avec une approche traditionnelle (langage impératif ou fonctionnel) ;

– avec une approche objet.

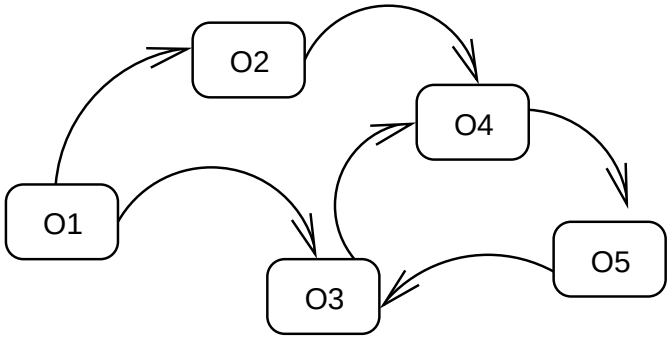
Remarque : On se limite au cas général d'une équation avec deux racines réelles.

Les équations : version « traditionnelle »

```
1  public class ÉquationTraditionnelle {
2     public static void main (String[] args) {
3        double a, b, c;       // coefficients de l'équation
4
5        // Initialiser les coefficients
6        a = 1;
7        b = 5;
8        c = 6;
9
10       // Calculer le discriminant
11       double delta = (b * b - 4 * a * c);
12
13       // Calculer les racines (sans contrôle de cohérence)
14       double x1 = (-b + Math.sqrt(delta)) / 2 / a;
15       double x2 = (-b - Math.sqrt(delta)) / 2 / a;
16
17       // Afficher les résultats
18       System.out.println("Racine␣1␣:␣" + x1);
19       System.out.println("Racine␣2␣:␣" + x2);
20    }
21 }
```

Approche objet : changement de façon de penser

Principe : Pour pouvoir penser une solution informatique, il faut substituer à la notion de PROGRAMME la notion d'ORGANISME, ensemble d'objets pouvant communiquer entre eux.



« Les systèmes logiciels sont caractérisés au premier chef par les objets qu'ils manipulent, non par la fonction qu'ils assurent.
Ne demandez pas CE QUE FAIT LE SYSTÈME.
Demandez À QUI IL LE FAIT ! »

Bertrand Meyer

Les équations : version (plus) objet

```
1  /** Modélisation d'une équation du second degré et de sa résolution.
2   *  @author  Xavier Crégut
3   *  @version 1.3
4   */
5  class Équation {
6
7      /** Coefficients de l'équation */
8      double coeffA, coeffB, coeffC;
9
10     /** Solutions de l'équation */
11     double x1, x2;
12
13     /** Déterminer les racines de l'équation du second degré.  */
14     void résoudre() {
15         double delta = // variable locale à la méthode résoudre
16               this.coeffB * this.coeffB - 4 * this.coeffA * this.coeffC;
17         this.x1 = (- this.coeffB + Math.sqrt(delta)) / 2 / this.coeffA;
18         this.x2 = (- this.coeffB - Math.sqrt(delta)) / 2 / this.coeffA;
19     }
20 }
```

Attention : Cette classe Équation est simpliste !

Les équations : version (plus) objet

Une équation est caractérisée par ses coefficients, ses racines et le fait que la résoudre consiste à calculer ses racines en fonction de ses coefficients.

On en déduit :

– les *attributs* : l'état d'un objet Équation (les coefficients et les racines) ;
– les *méthodes* : les « actions » qui peuvent être réalisées sur un objet de type Équation (résoudre l'équation).

Remarque : On ne s'intéresse qu'au cas général (deux solutions) de l'équation du second degré à coefficients et valeurs dans les réels.

Attention : Outre la remarque précédente, cette classe est un exemple à ne pas suivre : il est seulement introductif !

Exercice 2 En deuxième lecture, expliquer pourquoi cette classe Équation constitue un exemple à ne pas suivre.

Programme principal manipulant les équations

```
1  class RésolutionÉquation {
2
3      /** Résoudre une équation du second degré. */
4      public static void main (String[] args) {
5          Équation uneÉquation;           // une poignée sur une Équation
6          uneÉquation = new Équation();   // création d'un objet Équation
7
8          // Initialiser les coefficients
9          uneÉquation.coeffA = 1;
10         uneÉquation.coeffB = 5;
11         uneÉquation.coeffC = 6;
12
13         // Calculer les racines de l'équation
14         uneÉquation.résoudre();
15
16         // Afficher les résultats
17         System.out.println(" Racine 1 : " + uneÉquation.x1);
18         System.out.println(" Racine 2 : " + uneÉquation.x2);
19     }
20 }
```

Exercice 3 Dessiner l'évolution de la mémoire.

Quelques constatations

- Une classe ressemble à un enregistrement dans lequel on peut mettre à la fois des champs (attributs) et des fonctions (méthodes).
- En Java, on les appelle respectivement *attributs* et *méthodes*.
  En UML on utilise les termes *attributs* et *opérations*.
- Les objets sont toujours créés dans le tas (allocation dynamique) par l'opérateur `new`.
- Les objets ne sont accessibles que par l'intermédiaire de *poignées* (ou variables d'objet) équivalentes à des pointeurs. Le type de la poignée conditionne les objets qui peuvent lui être attachés.
- Il n'y a pas de `delete` car Java intègre un ramasse-miettes.
- La mémoire des variables locales (types élémentaires ou poignées) est allouée dans la pile (gérée par le compilateur).
- On utilise la notation pointée pour accéder à l'attribut d'un objet ou lui appliquer une méthode.

Autre version en langage C

Une approche traditionnelle intégrant la notion de *type abstrait* nous conduit à identifier deux constituants pour ce petit exercice :

– un **module** décrivant l'équation (le type Equation et les opérations associées) ;
– un **programme principal** correspondant à la résolution d'une équation particulière.

En langage C, le module se traduit en deux fichiers :

– un fichier d'entête `equation.h` qui contient la spécification (interface) du module ;
– un fichier d'implantation `equation.c` qui contient l'implantation du module ;

Le programme principal est dans le fichier `test_equation.c`.

Le fichier d'entête du module : `equation.h`

```
 1  /*************************************************************
 2   *  Objectif :  Modélisation d'une équation du second degré
 3   *              et de sa résolution.
 4   *  Auteur   :  Xavier CRÉGUT <cregut@enseeiht.fr>
 5   *  Version  :  1.2
 6   *************************************************************/
 7
 8  #ifndef EQUATION__H
 9  #define EQUATION__H
10
11
12  /* Définition du type Equation */
13  struct Equation {
14      double coeffA, coeffB, coeffC; /* coefficients de l'équation */
15      double x1, x2;                 /* racines de l'équation */
16  };
17
18  typedef struct Equation Equation;
19
20
21  /* Déterminer les racines de l'équation du second degré.  */
22  void resoudre(Equation *eq);
23
24  #endif
```

Le fichier d'implantation du module : `equation.c`

```
 1
 2  #include <math.h>
 3
 4  #include "equation.h"
 5
 6  void resoudre(Equation *eq)
 7  {
 8      double delta = /* variable locale à la fonction resoudre */
 9              eq->coeffB * eq->coeffB - 4 * eq->coeffA * eq->coeffC;
10
11      eq->x1 = (- eq->coeffB + sqrt(delta)) / 2 / eq->coeffA;
12      eq->x2 = (- eq->coeffB - sqrt(delta)) / 2 / eq->coeffA;
13  }
```

Exercice 4 Comparer la fonction `résoudre` en C et la méthode `résoudre` en Java.

Le programme principal : `test_equation.c`

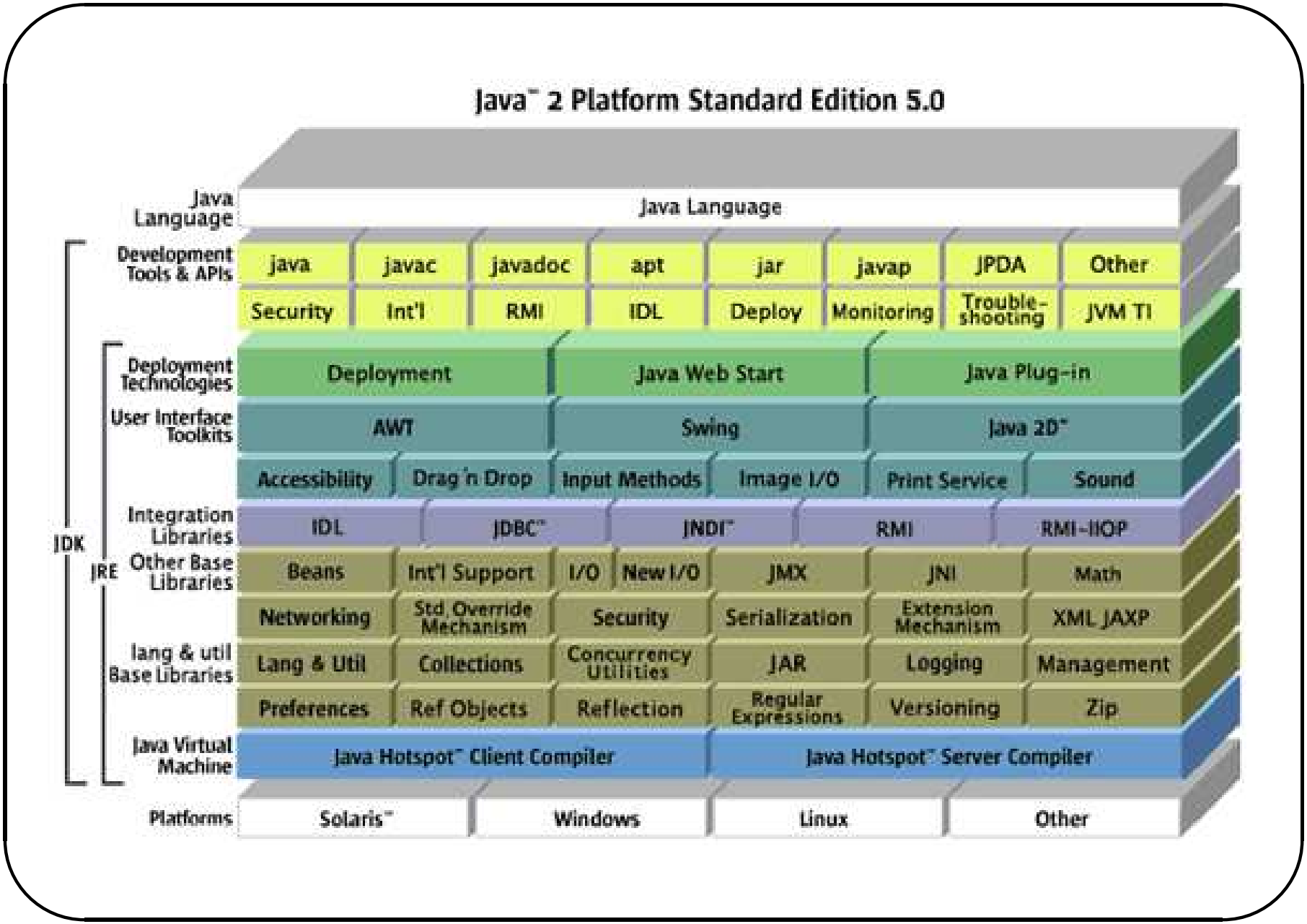
```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  #include "equation.h"
5
6  int main()
7  {
8      Equation uneEquation;       /* notre équation */
9
10     /* Initialiser les coefficients */
11     uneEquation.coeffA = 1;
12     uneEquation.coeffB = 5;
13     uneEquation.coeffC = 6;
14
15     /* Calculer les racines de l'équation */
16     resoudre(&uneEquation);
17
18     /* Afficher les résultats */
19     printf("␣Racine␣1␣:␣%f\n", uneEquation.x1);
20     printf("␣Racine␣2␣:␣%f\n", uneEquation.x2);
21
22     return EXIT_SUCCESS;
23 }
```

De nouvelles constatations

- On peut avoir une approche objet même avec un langage non objet !
  Attention : On n'aura pas tous les bénéfices d'une approche objet...
  sauf à faire des choses très (trop !) compliquées.
- Dans la version C, il y a séparation entre la spécification (interface) et l'implantation (corps) du module alors qu'en Java tout est dans **une même construction syntaxique** (la classe), dans **un seul fichier**.
- La fonction `resoudre` est à l'extérieur de l'enregistrement.
- Le paramètre `eq` de `résoudre` a disparu en Java. Il est devenu implicite.
  Pour y faire référence, on utilise le mot-clé **`this`**.
- Dans la version C, on utilise **`#include`** `<math.h>`.
  En Java, on indique où se trouve l'élément utilisé : `Math.sqrt`.
  Voir aussi CLASSPATH (T. 28). et **`import`** (T. 60)
- Le **`new`** de Java correspondrait à un `malloc` en C. En Java, la mémoire est libérée automatiquement (pas de `delete` ou `free`).

Plate-formes Java proposées par Sun

- J2SE : Java 2 Platform Standard Edition
  - JRE (Java Runtime Environment) : Java API, JVM... pour exécuter une application/applet Java
  - JDK (J2SE Development Kit) : JRE + outils de développement (compilateur...)
- J2EE (Java 2 Platform Enterprise Edition) : développement d'applications multi-couches orientées composants (Entreprise JavaBeans), web services (servlet, JSP, XML)...
- J2ME (Java 2 Platform Micro Edition) : Java pour les téléphones mobiles, PDA et autres appareils embarqués. Optimisé pour la mémoire, la puissance de traitement et les E/S.
- Java Card : fournir un environnement sûr sur des cartes avec de faibles mémoires et capacités de traitement.


Java™ 2 Platform Standard Edition 5.0
Java Language
Java Language
Development Tools & APIs
java
javac
javadoc
apt
jar
javap
JPDA
Other
Security
Int'l
RMI
IDL
Deploy
Monitoring
Trouble-shooting
JVM TI
Deployment Technologies
Deployment
Java Web Start
Java Plug-in
User Interface Toolkits
AWT
Swing
Java 2D™
Accessibility
Drag 'n Drop
Input Methods
Image I/O
Print Service
Sound
Integration Libraries
IDL
JDBC™
JNDI™
RMI
RMI-IIOP
Other Base Libraries
Beans
Int'l Support
I/O
New I/O
JMX
JNI
Math
Networking
Std. Override Mechanism
Security
Serialization
Extension Mechanism
XML JAXP
lang & util Base Libraries
Lang & Util
Collections
Concurrency Utilities
JAR
Logging
Management
Preferences
Ref Objects
Reflection
Regular Expressions
Versioning
Zip
Java Virtual Machine
Java Hotspot™ Client Compiler
Java Hotspot™ Server Compiler
Platforms
Solaris™
Windows
Linux
Other
JDK
JRE

Premier programme Java

```
1  /** Un programme minimal qui, de manière classique, affiche « bonjour ».
2    * En Java, tout est défini dans une classe même dans le cas du
3    * programme le plus simple !
4    */
5  public class Bonjour {
6    // Méthode principale : c'est la méthode exécutée lorsque
7    // l'utilisateur demande d'exécuter la classe Bonjour.
8    // args : les arguments de la ligne de commande (hors java Bonjour)
9    /** Dire bonjour à tout le monde.
10     * @param args ceux à qui dire bonjour
11     */
12   public static void main(String[] args) {
13       for (int i = 0; i < args.length; i++) {
14           // Afficher sur la sortie standard
15           System.out.println("Bonjour " + args[i]);
16       }
17       System.out.println("Bonjour tout le monde !");
18       /* Les commentaires à la C sont aussi disponibles */
19   }
20 }
```

Principaux outils du J2SE Developer Kit (JDK)

Le JDK (J2SE Developer Kit) est l'environnement de développement (minimal) pour Java proposé par Sun.

- `javac` : compilateur de sources Java
- `java` : machine virtuelle (interprète code binaire)
- `javadoc` : générateur de documentation HTML
- `jar` : constructeur d'archives
- `appletviewer` : interprète des Applet
- `javap` : désassembleur code binaire
- `jdb` : outil de mise au point (interfacé avec DDD)
- ... et bien d'autres !

Remarque : Il existe de nombreux IDE (Integrated Development Environments) pour Java.

Le compilateur : `javac`

Le **compilateur** `javac` produit du code intermédiaire (byte code).

```
javac Bonjour.java                (==> produit Bonjour.class)
```

Java est donc un **langage compilé**. Le compilateur vous aidera à détecter et corriger les erreurs dans vos programmes (messages relativement clairs).

Remarque : Depuis la version 1.2, `javac` calcule les dépendances et compile tous les fichiers nécessaires. *Il suffit donc de compiler la classe principale*.

```
licorne> javac -verbose RésolutionÉquation.java
    ---- extraits de l'affichage ----
[parsing started RésolutionÉquation.java]
[checking RésolutionÉquation]
[loading ./Équation.java]
[parsing started ./Équation.java]
[wrote RésolutionÉquation.class]
[checking Équation]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/lang/Math.class)]
[wrote ./Équation.class]
[total 1148ms]
```

Compilation de RésolutionÉquation.java

```
licorne> javac -verbose RésolutionÉquation.java
[parsing started RésolutionÉquation.java]
[parsing completed 305ms]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/lang/Object.class)]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/lang/String.class)]
[checking RésolutionÉquation]
[loading ./Équation.java]
[parsing started ./Équation.java]
[parsing completed 5ms]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/lang/System.class)]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/io/PrintStream.class)]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/io/FilterOutputStream.class)]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/io/OutputStream.class)]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/lang/StringBuffer.class)]
[wrote RésolutionÉquation.class]
[checking Équation]
[loading /opt/j2sdk1.4.0/jre/lib/rt.jar(java/lang/Math.class)]
[wrote ./Équation.class]
[total 1148ms]
```

La machine virtuelle Java (JVM) : `java`

Le code produit par `javac` étant du code intermédiaire, il ne peut pas être directement exécuté par la machine.

$\Longrightarrow$ Il faut donc utiliser une machine virtuelle Java : `java` dans le JDK :

```
licorne> java Bonjour Pierre Paul
Bonjour Pierre
Bonjour Paul
Bonjour tout le monde !
```

Le premier argument est une *classe Java* (donc sans extension !) qui doit contenir la méthode principale `main`. Les autres sont transmis à `main`.

Attention : Ne pas mettre d'extension derrière le nom de la classe.

```
licorne> java Bonjour.class
Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: Bonjour/class

licorne> java Bonjour.java
Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: Bonjour/java
```

Le « . » est le séparateur de paquetages (équivalent des répertoires).

Outil d'extraction de documentation : `javadoc`

Le JDK contient un outil, `javadoc`, qui engendre automatiquement la documentation des classes Java à partir de leur code source.

```
javadoc *.java          (==> produit plein de fichiers HTML)
```

Intérêt : La documentation est directement rédigée dans le source Java, avec le code. Ceci facilite sa mise à jour et donc favorise (mais ne garantit pas !) sa cohérence.

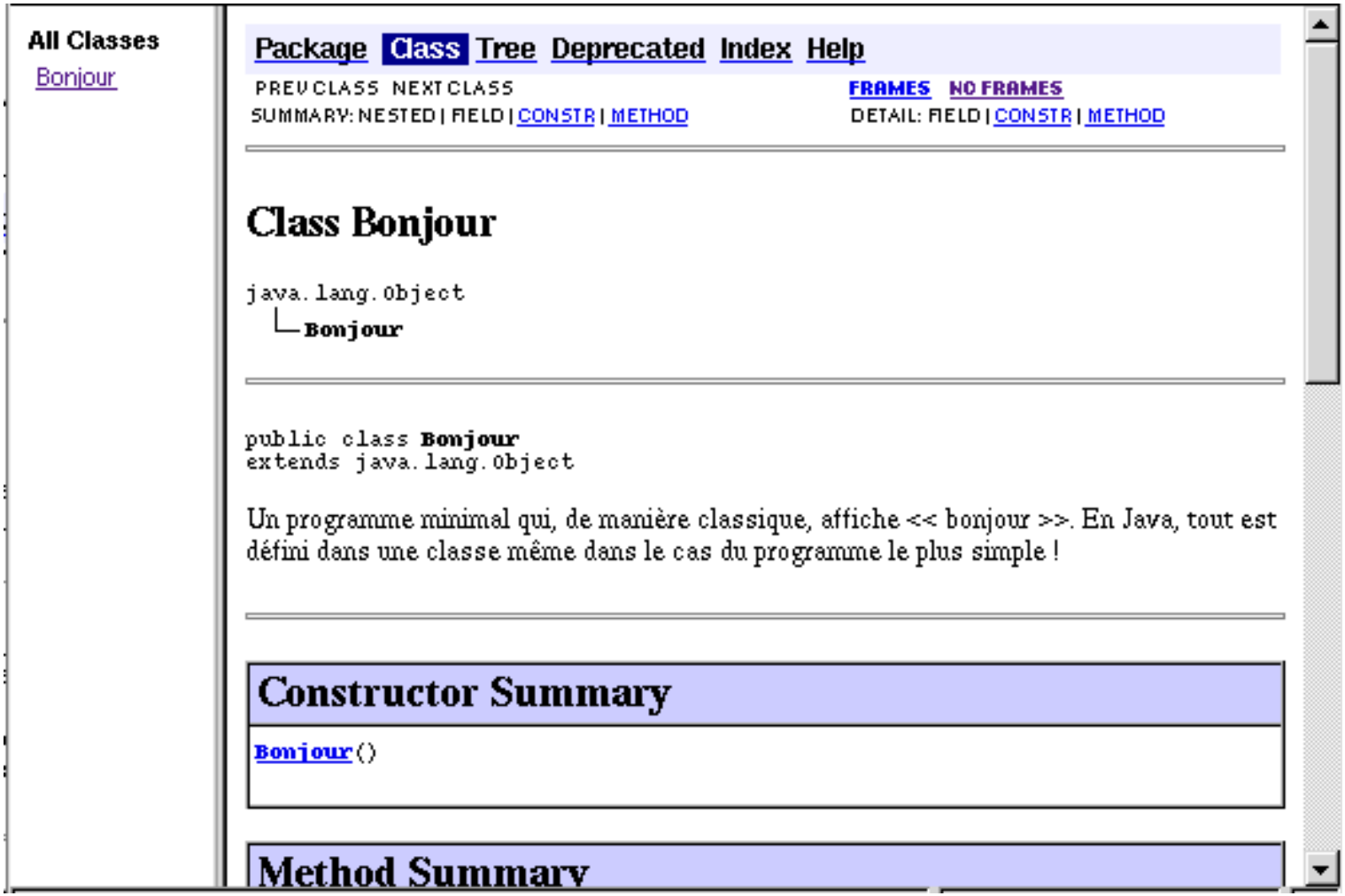
javadoc permet une présentation standardisée de la documentation.

Moyen : C'est bien entendu au programmeur de fournir les éléments de la documentation. Il utilise alors des commentaires spécifiques `/** */` placés *avant* l'élément à documenter.

Attention : Par défaut, seules les informations publiques sont documentées.

Remarque : Voir principe de l'auto-documentation (T. 27).

Documentation engendrée



All Classes

Bonjour

Package Class Tree Deprecated Index Help

PREV CLASS NEXT CLASS FRAMES NO FRAMES

SUMMARY: NESTED | FIELD | CONSTR | METHOD DETAIL: FIELD | CONSTR | METHOD

Class Bonjour

```
java.lang.Object
  └─Bonjour
```

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

Un programme minimal qui, de manière classique, affiche << bonjour >>. En Java, tout est défini dans une classe même dans le cas du programme le plus simple !

Constructor Summary

Bonjour()

Method Summary

Les commentaires

Java propose trois types de commentaires :

– Les commentaires à la C : utiles pour mettre en commentaire plusieurs lignes de code.

```
/* Un commentaire qui peut se continuer
    sur plusieurs lignes */

/* Exactement comme en C
 * et donc ils ne peuvent pas être imbriqués
 */
```

Attention : Ces commentaires ne peuvent pas être imbriqués.

– Les commentaires à la C++ :

```
// Ce commentaire se termine avec la fin de la ligne
```

Avantage : On ne risque pas d'oublier de les fermer !

Un bon éditeur doit permettre de les ajouter et les enlever facilement.

– Les **commentaires structurés** exploités par l'outil `javadoc`.

Les commentaires structurés

Objectif : Les commentaires structurés sont extraits par l'outil `javadoc` pour produire la documentation de la classe au format HTML.

Ces commentaires peuvent contenir :

– des étiquettes spécifiques à `javadoc` : elles commencent par `@` (`@author`, `@param`, `@return`, `@see`, etc.) ;

– des éléments HTML.

```
/** Les commentaires structurés commencent par une double étoile (**).
 *  Ils peuvent contenir des éléments <strong>HTML</strong>.
 *  Ils sont placés devant l'entité qu'ils décrivent : une classe, un
 *  attribut, une méthode
 */
```

Principe de l'auto-documentation : le concepteur d'un module doit s'astreindre à exprimer toute l'information sur le module dans le module lui-même.

Lien avec le gestionnaire de fichiers : CLASSPATH

Par défaut, les outils du JDK cherchent les classes dans le répertoire courant.

Si les classes sont dans plusieurs répertoires, on utilise le « classpath » :

– soit avec l'option `-classpath` des outils du JDK ;

– soit avec la variable d'environnement CLASSPATH.

Remarque : Nécessaire dès qu'on utilise des bibliothèques (JUnit, Log4J...) qui sont dans des répertoires ou fichiers d'archive (.jar) propres.

```
javac -classpath /usr/local/java/junit/junit.jar:. MaClasseTest.java
java  -classpath /usr/local/java/junit/junit.jar:. MaClasseTest
```

Les classes sont cherchées dans junit.jar puis dans le répertoire courant.

Attention : Ne pas oublier le répertoire courant !

En utilisant CLASSPATH avec (t)csh :

```
setenv CLASSPATH /usr/local/java/junit/junit.jar:.
javac MaClasseTest.java
java  MaClasseTest
```

Attention : Utiliser « ; » et non « : » sous Windows.

Java est un langage simple et familier

- familier par sa parenté avec C :
  - structures de contrôle ;
  - types primitifs.
- simple par rapport à C/C++ :
  - pas de fichier d'entête, pas de préprocesseur ;
  - pas d'arithmétique des pointeurs (ni de syntaxe) ;
  - ni structures, ni unions, ni énumérations (ajoutées dans Java 1.5) ;
  - pas de surcharge des opérateurs ;
  - pas de conversions de type sans contrôle ;
  - pas de sémantique de la valeur pour les objets ;
  - gestion automatique de la mémoire.

Attention : Java est un langage à objets. Il nécessite donc un changement de point de vue et contient des aspects subtils (héritage, liaison tardive...).

Java est un langage robuste

But : Éliminer les risques d'erreur (contexte logiciel embarqué ou mobile)

Moyen :

- Mécanisme sophistiqué de gestion des erreurs
  - Mécanisme de typage « fort » (détection statique des erreurs)
  - L'éditeur de lien utilise les informations de typage
  - Conversions de type contrôlées
  - Détection dynamique des dépassements des bornes de tableaux
- Mécanisme sophistiqué de gestion mémoire
  - Contrôle de l'accès à la mémoire (pas de risque d'écrasement)
  - Libération « automatique » de la mémoire (ramasse-miettes)

Java : Une architecture neutre

But : Exécuter du code mobile dans un environnement hétérogène ou, plus simplement, exécuter le programme sur des machines différentes.

Principe : Éviter les dépendances vis-à-vis :

– du matériel
– des couches logicielles : réseau, système d'exploitation, environnement graphique

Moyen :

– Utilisation d'une machine virtuelle (processeur abstrait)
– Définition d'une bibliothèque standard abstraite instanciée pour chaque environnement (et tendre vers du pur Java)

Java : Un langage portable

But :

– Un même code compilé sur toutes les architectures produit le même résultat

– Minimiser les modifications liées au portage machine virtuelle

Moyen :

– Bibliothèque indépendante

– Définition (sémantique) précise du langage :
  – taille, organisation physique des données
  – valeurs par défaut, minimales, maximales
  – effets des opérateurs sur les données
  – ordre des calculs
  – effets des instructions sur la mémoire

Java est un langage à objets

Bénéficier de la meilleure technologie logicielle disponible à ce jour

Concepts-clés : Deux concepts majeurs :

– Modularité : encapsulation et masquage d'information (notion de classe)
– Extensibilité (relation d'héritage)

Technique :

– Classes, interfaces, paquetages
– Tout est classe (enveloppe – *wrapper* – possible pour les types primitifs)
– Les objets sont accessibles par des poignées (pointeurs)
– Héritage simple des classes
– Héritage multiple d'interfaces
– Polymorphisme et liaison tardive
– Bibliothèque très riche

Java : Un langage performant

– Byte code adapté pour être compilé à la volée (*Just In Time*) pour produire puis réutiliser le code associé à chaque instruction
– Cache mémoire pour éviter le chargement (et la vérification) multiple d'une même classe
– Compilation classique pour engendrer un programme propre à une architecture donnée avec édition de lien classique (perte mobilité)
– Ramasse-miettes : Processus indépendant de faible priorité

La performance d'un langage ne se mesure pas qu'à sa vitesse d'exécution mais aussi au temps de développement requis. Les atouts de Java sont :

– Simplicité du langage (à nuancer !)
– Vérification statique et dynamique forte
– Bibliothèque standard très complète

Autres points forts de Java

Java possède d'autres points forts qui ne sont pas développés dans ce cours. Ainsi Java est aussi un langage...

- **distribué :** exploiter simplement les ressources INTERNET (code mobile avec les applets, servlets, RMI, Corba) ;
- **sécurisé :** éviter les intrusions liées au code mobile (« bac à sable », API de sécurité) ;
- **dynamique (interprété) :** accélérer le cycle de développement (édition des liens dynamique), introspection ;
- **parallèle :** Processus légers (exécution parallèle dans le même espace d'adressage) ;

Java : un langage mais pas seulement !

En fait, Java c'est trois éléments :

1. la **machine virtuelle Java** (JVM), spécification stable depuis 1995 ;
2. le **langage Java** par lui-même. Il a connu des évolutions jusqu'à la version 1.2, un peu à la 1.4 (`assert`) et 1.5 (généricité, foreach, énumération, ellipse...) ;
3. la **bibliothèque standard Java**. C'est elle qui évolue le plus.

   Exemples : le modèle de gestion des événements, swing, XML...

   Remarquons que pour améliorer sa portabilité, la bibliothèque est principalement développée en Java.

version	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
# classes	212	504	1520	1842	2991	3562	7069
# paquetages	8	23	59	76	135	166	480

Origine et historique

- Projet SunSoft : Langage pour **applications embarquées**
  - 1991 : Projet Green, Produit *7, Langage Oak (futur Java) $\Longrightarrow$ Échec !
- Évolution vers INTERNET : **Applications mobiles**
  - 1994-1995 : navigateur WWW novateur, futur *HotJava*
  - 1995 : intégration de Java dans Netscape
- Les principales versions de Java :
  - 1996 : première version de Java publiée (Java 1.02)
  - 1997 : Java 1.1 (modèle des événements, internationalisation, *Java Beans*...)
  - 1998 : Java 1.2 (Swing optimisation de la JVM, ...).
    Sun appelle *Java 2* les versions de Java.
  - 2001 : Java 1.4 (assertions, amélioration JDBC, regexp...)
  - 2004 : Java 1.5 (généricité, énumération, foreach) : J2SE 5.0
  - 2006 : Java 1.6, Java SE 6

Algorithmique en Java

La méthode principale

Par définition, lorsqu'on lance la JVM avec une classe, c'est sa « méthode principale » qui est exécutée. Elle se déclare de la manière suivante :

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

Attention : Tous les mots (sauf args) sont importants !

- Les qualificatifs **`static`** (T. 103) et **`public`** (T. 69) sont obligatoires !
- Elle a pour type de retour **`void`** (pas de valeur retournée).
- Elle prend un seul paramètre de type tableau (T. 127) de chaînes de caractères (T. 135), les arguments de la ligne de commande.
- Chaque classe peut définir **sa** méthode principale.
- Une classe peut ne pas avoir de méthode principale.

Les types primitifs

Les types primitifs comprennent :

– les entiers : **`byte`**, **`short`**, **`int`**, **`long`**.
  Ce sont des entiers signés (il n'y a pas d'entiers non signés).
– les nombres à virgule flottante : **`float`**, **`double`**.
– les booléens : **`boolean`** (avec les deux valeurs **`false`** et **`true`**).
– les caractères : **`char`** (en Unicode)

Quelques propriétés des types primitifs :

– Ils ont tous une valeur par défaut (en général 0) utilisée pour les initialisations automatiques.
– Les entiers ne sont pas compatibles avec les booléens.
– Entiers et caractères sont compatibles (attention à 3 + 'a').

Les types primitifs : tableau récapitulatif

Type	# bits	Défaut	Minimum	Maximum	Exemples
byte	8	0	-128	+127	-10, 0, 10
short	16	0	-32768	32767	-10, 0, 10
int	32	0	-2^{31}	$2^{31}-1$	-10, 0, 10
long	64	0	-2^{63}	$2^{63}-1$	-10L, 0L, 10L
float	32	0.0	IEEE 754	IEEE 754	3.1F, 3.1f, 31e-1f
double	64	0.0	IEEE 754	IEEE 754	3.1, 3D, 1e-4
boolean	1	false	false	true	
char	16	`'\u0000'`	`'\u0000'`	`'\uFFFF'`	'a', `'\n'`, `'\''`

Remarque : Java autorise les conversions entre types à condition qu'il n'y ait pas de perte d'information (ou précision).

```
float x1 = 4;           // OK : conversion (coersion)
float x2 = 4.21;        // Erreur de compilation !
```

Identificateurs

- Les identificateurs en Java sont de la forme : lettre (lettre | chiffre) *
  Les lettres sont a-z, A-Z, _, ainsi que tout caractère unicode qui correspond à une lettre dans la langue utilisée (caractères accentués).
- Java comme C et C++ distingue majuscules et minuscules
- **Conseil :** Toujours choisir un identificateur significatif.
- Mettre en évidence les différents mots d'un identificateur. La convention Java est de mettre l'initiale des mots suivants en majuscule (exemple : idEnPlusieursParties).
- **Remarque :** Le caractères $ fait partie des « chiffres » mais est réservé pour des identificateurs engendrés automatiquement. **Ne pas l'utiliser !**

Opérateurs relationnels

```
==   // égalité (conversion si types différents)     3 == 3
!=   // différence (non égalité)                     4 != 5
>    // plus grand que                               4 > 3
>=   // plus grand que ou égal                       4 >= 3
<    // plus petit que                               3 < 4
<=   // plus petit que ou égal                       3 <= 4
```

Attention : Ne pas confondre = (affectation) et == (égalité) !

Opérateurs arithmétiques

```
+ -  // addition et soustraction (op. binaires)      10 + 5 == 15
* /  // multiplication et division                   10 / 3 == 3
%    // modulo : le reste de la division entière     10 % 3 == 1
+    // opérateur unaire                             +10 == 10
-    // opérateur unaire (opposé de l'opérande)      -10
++   // pré-incrémentation (++x) ou post-incrémentation (x++)
--   // pré-décrémentation (--x) ou post-décrémentation (x--)
```

Opérateurs logiques (booléens)

```
&&    // ET logique          expr1 && expr2
||    // OU logique          expr1 || expr2
!     // NON logique         ! expr1
```

Remarque : Les opérateurs logiques sont évalués en court-circuit (évaluation partielle) : dès que le résultat est connu, l'évaluation s'arrête.

```
true  || expr        // vrai sans avoir à évaluer expr
false && expr        // faux sans avoir à évaluer expr
```

Formulations équivalentes : (la seconde est préférable)

```
A == true   est équivalent à  A
A == false  est équivalent à  !A
```

Opérateurs sur les bits

```
expr1 & expr2 // ET bit à bit
expr1 | expr2 // OU bit à bit
expr1 ^ expr2 // XOR bit à bit
~ expr1       // inverse les bits de l'opérande
expr << nb    // décalage de expr à gauche de nb bits (fois 2)
expr >> nb    // décalage de expr à droite de nb bits (div 2)
expr >>> nb   // idem >> (sans préservation du signe)
```

Opérateur conditionnel (si arithmétique)

```
condition ? valeur_vrai : valeur_faux
```

Si la condition est vraie, le résultat est `valeur_vrai`, sinon c'est `valeur_faux`.

```
status = (age >= 18) ? "majeur" : "mineur"
```

Attention : Peut être difficile à lire !

Priorité et associativité des opérateurs

```
 1G  []          accès à un tableau
     ()
     .          p.x ou p.m()
 2D  ++  --     post-incrémentation et post-décrémentation
 3D  ++  --     pré-incrémentation  et pré-décrémentation
     +  - !  ~  unaires
     (type)     transtypage
     new
 4G  *  /  %
 5G  +  -
 6G  <<  >>  >>>
 7G  <  <=  >  >=  instanceof
 8G  ==  !=
 9G  &
10G  ^
11G  |
12G  &&
13G  ||
14D  ?:
15D  =  +=  -=  *=  *=  /=  %=  &=  ^=  |=  <<=  >>=  >>>=
```

```
a + b + c + d   // G : associativité à gauche ((a + b) + c) + d
x = y = z = t   // D : associativité à droite x = (y = (z = t))
```

Instructions et structures de contrôle

Instructions « simples »

- Déclaration de variables
- Affectation
- Instruction nulle
- Instruction composée

Structures de contrôle

- Conditionnelles : **`if`** et **`switch`**
- Répétitions : **`while`**, **`do`**, **`for`** et `foreach`

Instructions à ne pas utiliser

- **`break`** (sauf dans un **`switch`**)
- **`continue`**

Instructions simples : déclaration de variables

La déclaration de variables est une instruction.

$\Longrightarrow$ Les déclarations n'ont plus à être groupées au début d'un bloc.

Déclaration d'une variable :

```
<type> <nom> [= <valeur_initiale>];  // rôle de la variable
```

Exemples :

```
int age, numéro, montant;       // éviter les déclarations multiples !
int px = 0, py = 0;     // avec initialisation
double x = 55, y = x*x; // utilisation d'une expression calculée
```

Conseil : Ne déclarer une variable que quand on est capable de l'initialiser.

Portée : Une variable locale est accessible de sa déclaration jusqu'à la fin du bloc dans lequel elle est définie.

Attention : Impossible d'utiliser un même identificateur dans un sous-bloc.

Remarque : Le mot-clé `final` permet de définir une (variable) constante !

En fait, une seule affectation possible.

```
final int MAX = 10;
```

Instructions simples : affectation

Affectation : Donner une nouvelle *valeur* à *une variable*.

```
int i, j, k;
i = 2;              // affectation avec une expression constante
j = i * (i - 1);    // la valeur est une expression quelconque
j = k = i+j;        // l'affectation renvoie une valeur !
```

Variantes de l'affectation : L'opérateur d'affectation peut être combiné avec la plupart des opérateurs :

```
x += y    /*  x = x + y  */
x -= y    /*  x = x - y  */
x %= y    /*  x = x % y  */
x |= y    /*  x = x | y  */
...
```

```
double x = 1.5;
int n = 0;
n += x;
// possible ?
// valeur de n ?
```

Attention : Si x est une variable déclarée du type T, on a :

`x #= y` est équivalent à `(T)((x) # (y))`

Pré- et post-opérateurs : `++` et `--`

Incrémenter (++) ou décrémenter (−−) une variable de 1.

Instructions simples (suite)

Instruction nulle :

```
;   // instruction nulle : ne fait rien !
```

Bloc ou instruction composée : grouper des instructions avec des accolades pour qu'elles soient considérées comme une seule.

```
{           // instruction composée
    nbAnnées++;
    capital = capital * (1 + taux);
}
```

Conditionnelles : if

```
if (<condition>)
    <instruction>;
```

```
if (<condition>) {
    <instructions1>;
} else {
    <instructions2>;
}
```

Remarque : si on veut mettre plusieurs instructions, il faut utiliser les { } pour en faire une instruction composée.

Règle : Toujours mettre les `{ }`.

Attention : En Java, toutes les conditions sont (et doivent être) booléennes !

```
if (n > max) {
    max = n;
}
```

```
if (n1 == n2) {
    res =  "égaux";
} else {
    res =  "différents";
}
```

Remarque : Pour représenter un **`SinonSi`**, utiliser **`else if`**.

Conditionnelles : switch (choix multiples)

```
switch (<expression>) {
case <expr_cste_1>:
    <instructions_1>;
    break;
...
case <expr_cste_n>:
    <instructions_n>;
    break;

default:
    <instruction>;
}
```

```
switch (c) { // c caractère
case 'o':
case 'O':
    res =  "Affirmatif";
    break;

case 'n':
case 'N':
    res =  "Négatif";
    break;
default:
    res =  "!?!?!?!?";
}
```

Principe : L'expression est évaluée et l'exécution continue à la première instruction qui suit la 1re expression constante lui correspondant (ou **`default`**). Si un **`break`** est rencontré, l'exécution se poursuit à la fin du **`switch`**.

Conséquence : Si le même traitement doit être fait pour plusieurs cas, il suffit de lister les différents **`case`** correspondants consécutivement.

Conseil : Mettre un **`break`** après chaque groupe d'instructions d'un **`case`**.

Répétitions : while

```
while (<condition>) {
    <instructions>;
}
```

```
// nb d'années pour atteindre l'objectif
double taux = 0.03;
double capital = 5000;
double objectif = 10000;
int nbAnnées = 0;
while (capital < objectif) {
    nbAnnées++;
    capital = capital * (1 + taux);
}
```

Sémantique : Tant que `<condition>` est vraie, `<instructions>` (simple ou bloc) est exécutée.

Remarque : `<instructions>` peut ne pas être exécutée.

Répétitions : do ... while

```
do {
    <instructions>;
} while (<condition>);
```

```
// Calculer la racine carrée de a
final double EPSILON = 1.e-4;
double a = 2;   // doit être non nul !
double un = a;
assert a != 0;
double up;  // valeur précédente de u_n
do {
    up = un;
    un = (un + a/un)/2;
} while (Math.abs(un - up) > EPSILON);
```

Sémantique : `<instructions>` est exécutée puis, tant que `<condition>` est vraie, `<instructions>` est exécutée.

Remarque : `<instructions>` est exécutée au moins une fois.

Répétitions : for

```
for (<init>; <cond>; <incr>) {
    <instructions>;
}
```

```
for (int i = 1; i < 10; i++) {
    System.out.println(i);
}
```

Sémantique : `<init>` (initialisation) est exécutée puis, tant que `<cond>` est vraie `<instructions>` et `<incr>` (incrémentation) sont exécutées.

```
{   // réécriture du for à l'aide du while
    <init>;     // initialisation
    while (<cond>) {    // condition de continuation
        <instructions>; // traitement
        <incr>;         // incrémentation
    }
}
```

Conséquence : Une variable déclarée dans <init> n'est visible que dans le bloc du **`for`** (cas du **`int`** `i = 1`, par exemple).

Conseil : Conserver la sémantique du **`Pour`** algorithmique : on sait à l'avance combien de fois la boucle doit être exécutée.

Répétitions : foreach

```
for (<type> <var> : <col>) {
    <instructions>;
}
```

```
public static void main(String[] args) {
  for (String nom : args) {
    System.out.println("Bonjour␣" + nom);
  }
}
```

Vocabulaire : On dit « Pour chaque `<var>` dans `<col>` » (foreach ... in ...).

Sémantique : `<col>` est soit un *tableau*, soit une *collection* (en fait un itérable, T. 348).
Les instructions sont exécutées pour `<var>` prenant chaque valeur de `<col>`.

Avantage : Écriture simple conservant la sémantique du **`Pour`** algorithmique.

Limite : `<instructions>` ne doit pas modifier le parcours de la collection (détecté à l'exécution `ConcurrentModificationException`).
Règle du 80–20 et itérateurs *fail-fast* (T. 346) !

Instructions à ne pas utiliser

Les instructions suivantes sont proposées par Java :

- **`break`** : arrêter l'exécution d'une boucle ou d'un **`switch`** ;
- **`continue`** : arrêter l'itération actuelle d'une boucle et passer à la suivante.

Attention : Ces deux instructions **ne doivent pas être utilisées** car elles violent les principes de la programmation structurée.

Exception : Bien sûr, le **`break`** peut et doit être utilisé dans un **`switch`** !

Remarque : En Java, on peut étiqueter les répétitions.

```
première: for (int i = 0; i < 7; i++) { // for étiquetté « première »
    System.out.println("i = " + i);
    for (int j = 0; j < 4; j++) {
        System.out.println("    j = " + j);
        if (j == i) {
            continue première;          // ==> passer au i suivant !
        }
    }
}
System.out.println("Fin !");
```

Paquetages

Programme = ensemble de classes (et interfaces) organisées en paquetages.

```
// fichier A.java
package nom.du.paquetage;        // paquetage d'appartenance
class A { ...  }                 // texte Java de la classe
```

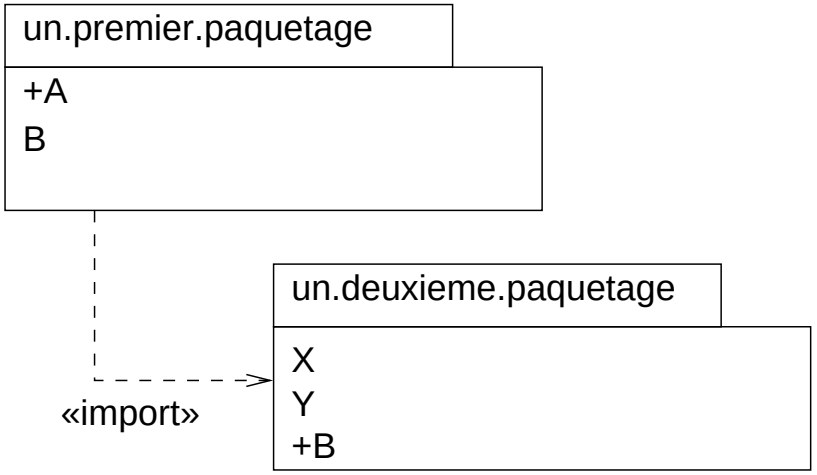
– La directive **`package`** doit être la première ligne du fichier.
– Une classe ne peut appartenir qu'à un seul paquetage.
– La structure des paquetages s'appuie sur le système de fichiers : les paquetages sont des répertoires et les classes des fichiers.
– Si le paquetage d'appartenance n'est pas précisé, la classe appartient au *paquetage anonyme* (le répertoire courant).

Convention : Le nom des paquetages est en minuscules : java.lang, java.util... (qui correspondent à java/lang/, java/util/...).

Paquetages : droits d'accès

Une classe peut être publique (**`public`**) ou locale au paquetage.

```
// fichier A.java
package un.premier.paquetage;
public class A { ... }
class B { ... }

// fichier B.java
package un.deuxieme.paquetage;
class X { ... }
class Y { ... }
public class B { ... }
```



Une classe déclarée publique (**`public`**) peut être utilisée depuis d'autres paquetages sinon elle est locale au paquetage.

On peut mettre plusieurs classes dans un même fichier Java (déconseillé) mais une seule peut être publique (elle donne son nom au fichier).

Deux paquetages différents peuvent utiliser le même nom de classe.

Paquetages : utiliser une classe d'un paquetage

– qualifier complètement la classe :

```
java.awt.Color c;       // La classe Color du paquetage java.awt
```

– importer une classe (on a accès à la classe sans la qualifier) :

```
import java.awt.Color;  // en début de fichier
...
Color c;                // La classe Color du paquetage java.awt
```

– importer le contenu d'un paquetage (on a accès à toutes ses classes) :

```
import java.awt.*;      // en début de fichier
...
Color c;                // La classe java.awt.Color
Point p;                // La classe java.awt.Point
```

Attention aux conflits si un même nom de classe est utilisé dans deux paquetages ! Le conflit doit être résolu en utilisant le nom qualifié.

– `java.lang.*` est importé par défaut : il contient les classes `System`, `Math`, `String`, etc.

Paquetage : intérêts

Intérêt : L'intérêt des paquetages est de :

– structurer l'application en regroupant ses constituants ;

– éviter les conflits de noms : un même nom de classe peut être utilisé dans deux paquetages différents (un paquetage définit un espace de noms).

Conseil : Pour éviter toute ambiguïté, il est recommandé de toujours utiliser la forme complètement qualifiée des classes !

Exemple : `java.awt.Color` plutôt que `Color`.

Remarque : Nous parlons maintenant des paquetages car ils sont nécessaires pour comprendre certains éléments de Java (droit d'accès) ou certains messages d'erreurs avec les outils du JDK.

Attention : Les paquetages sont très importants pour la structuration d'un programme, ou d'une bibliothèque. Cependant, nous n'insisterons pas sur cet aspect dans la suite de ce cours.

Classes, objets et envois de message

- Les objets
- Les poignées
- Les classes
- Les attributs
- Les méthodes
- Les constructeurs
- Les attributs et méthodes de classe

Les objets

Un objet est caractérisé par :

– un *état* : la valeur des attributs (`coeffA`, `coeffB`, etc.) ;
– un *comportement* : les méthodes qui peuvent lui être appliquées (résoudre) ;
– une *identité* qui identifie de manière unique un objet (par exemple son adresse en mémoire).

Remarque : Un objet n'a de réalité qu'à l'exécution du programme.

Exercice 5 Quel est l'état d'une fraction ? Quel est son comportement ?

Attention : Les objets ne sont accessibles que par l'intermédiaire de poignées : Un objet est *attaché* à une poignée.

Synonymes de poignée : référence, pointeur, accès.

Les poignées

Les objets sont alloués dynamiquement (dans le tas) : opérateur **`new`**.

```
new Équation();          // création d'un objet Équation
```

Il retourne l'*identité* de l'objet créé. Elle est conservée dans une *poignée*.

Poignée : Une poignée est une variable dont le type est le nom d'une classe.

```
Équation eq;             // déclarer une poignée eq de type Équation
eq = new Équation();     // créer un objet et l'attacher à la poignée
```

La **valeur par défaut** d'une poignée est **`null`**. Elle indique qu'aucun objet n'est *attaché* à la poignée.

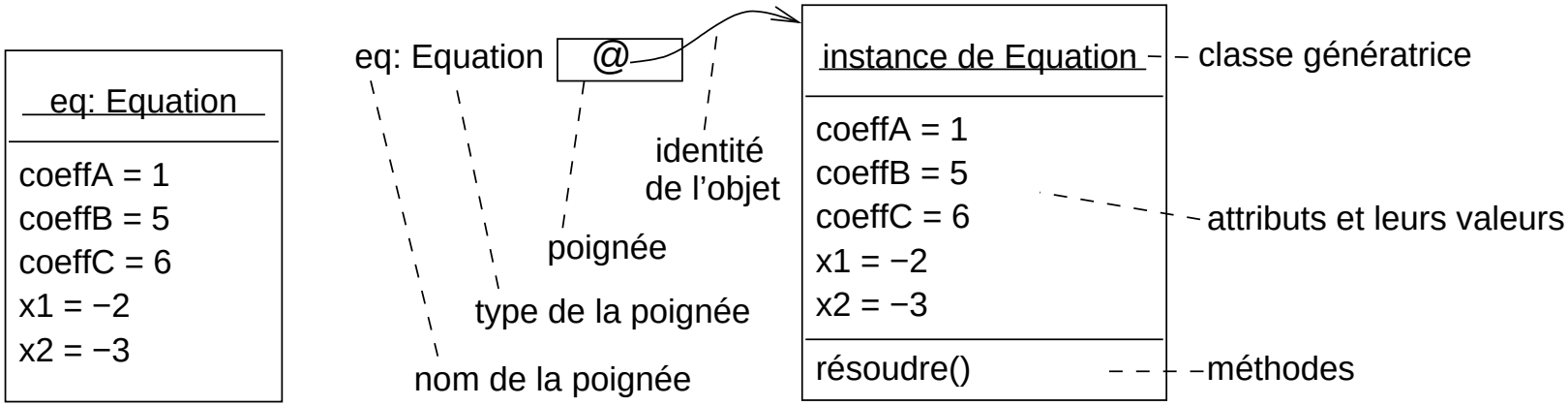
Remarque : On peut regrouper déclaration de la poignée et initialisation :

```
Équation eq = new Équation();   // en une ligne pour ne pas oublier
                                // d'initialiser la poignée
```

Conseil : Préférer la version où déclaration de la poignée et création de l'objet sont faites en même temps.

Notation graphique d'un objet

```
Équation eq = new Équation();
...              // initialisation, résolution, etc.
```



en UML représentation abstraite (en mémoire)

Remarque : En UML, on peut omettre le nom de l'objet ou de la classe. C'est donc le souligné qui indique qu'il s'agit d'un objet !

Remarque : En UML, les méthodes ne sont pas données car tous les objets d'une même classe possèdent les mêmes méthodes. C'est implicite.

Et après ?

Nous avons vu ce qu'est un objet, comment le créer et l'attacher à une poignée.

Mais :

- Où sont définies les caractéristiques des objets ? Dans une **classe** !
- Comment peut-on accéder aux caractéristiques des objets ? Par l'**envoi de messages** (ou **appel de méthodes**) !
- Comment initialiser un objet (nous ne savons que le créer) ? C'est l'objectif des **constructeurs** !

Les classes

Une classe définit :

– un **MODULE** : elle regroupe la déclaration des attributs et la définition des méthodes associées dans une même construction syntaxique ;

```
class NomDeLaClasse {
    // Définition de ses caractéristiques
}
```

Les *attributs* permettent le stockage d'information (état de l'objet).

Les *méthodes* sont des unités de calcul (fonctions ou procédures).

La classe est donc l'unité d'**encapsulation** et un **espace de noms**.

– un **TYPE** qui permet de :
  – créer des objets ;
  – déclarer des poignées auxquelles seront attachés ces objets.

Les méthodes et attributs définis sur la classe comme MODULE pourront être appliqués à ces objets (par l'intermédiaire des poignées).

Liens entre objet, poignée, classe et type

Voici quelques affirmations :

- Un objet est une instance d'une classe.
- Un objet est instance d'une et une seule classe.
- Une poignée a un type qui est le nom d'une classe (ou interface, T. 152).
- Un objet a pour type le nom de sa classe mais peut avoir d'autres types (voir interfaces T. 152 et héritage T. 196).
- On peut initialiser une poignée avec toute expression dont le type est le même que celui de la poignée (ou un sous-type, voir interfaces T. 152 et héritage T. 196).

Droit d'accès (accessibilité) des caractéristiques

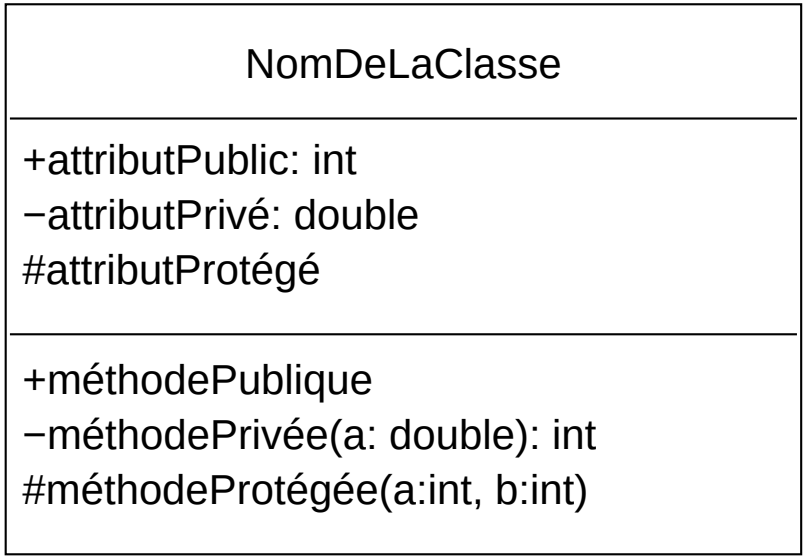
Chaque caractéristique a un droit d'accès. Il existe quatre niveaux de droit d'accès en Java :

- **`public`** : accessible depuis toutes les classes ;
- **`private`** : accessible seulement de la classe et d'aucune autre ;
- absence de modifieur de droit d'accès : *droit d'accès de paquetage*, accessible depuis toutes les classes du même paquetage ;
- **`protected`** : accessible du paquetage **et** des sous-classes (cf héritage).

Accessible depuis une méthode définie dans	**Droit d'accès/Visibilité**			
	public	**protected**	**défaut**	**private**
La même classe	**oui**	**oui**	**oui**	**oui**
Une classe du même paquetage	**oui**	**oui**	**oui**	**non**
Une sous-classe d'un autre paquetage	**oui**	**oui**	**non**	**non**
Une autre classe d'un autre paquetage	**oui**	**non**	**non**	**non**

Intérêt : Les droits d'accès permettent le **masquage d'information**.

Représentation UML d'une classe



nom de la classe

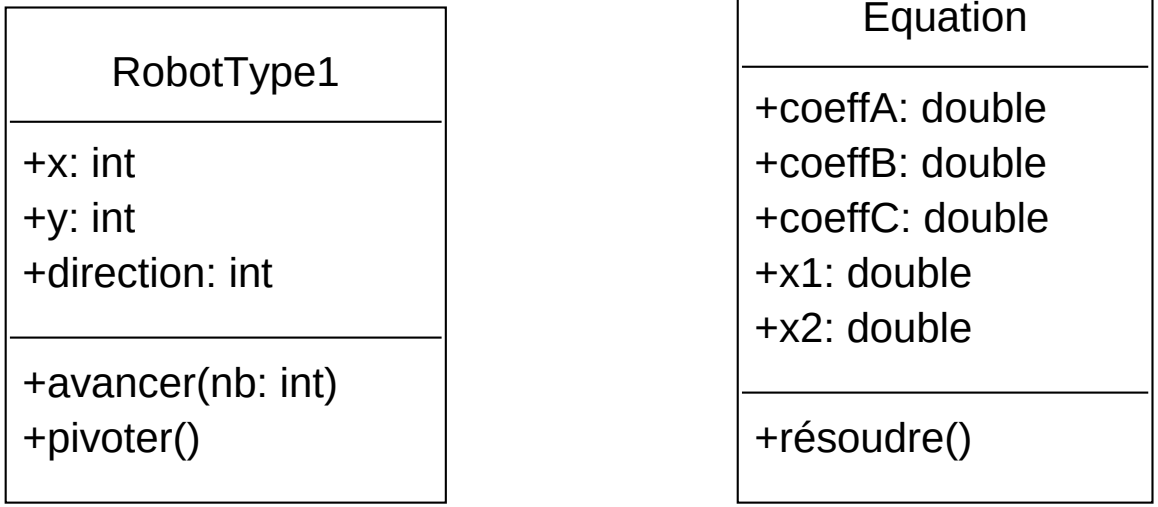
attributs

opérations (UML)
méthodes (Java)

La première partie contient le nom de la classe, la seconde les attributs et la troisième les méthodes (qui sont appelées opérations en UML).

Les droits d'accès sont symbolisés par les signes `+ - # ~` correspondant respectivement à **`public`**, **`private`**, **`protected`** et paquetage.

Exemples de classes UML



Exercice 6 Proposer la description UML d'une classe Fraction qui représente les fractions rationnelles.

Attributs

Les attributs permettent de stocker les informations spécifiques d'un objet.

Ils se déclarent nécessairement à l'intérieur d'une classe :

```
/** Documentation javadoc de l'attribut */
<modifieurs> Type idAttribut [, idAttribut]* ;

/** coefficient de x<sup>2</sup> */
public double coeffA;
```

Les modifieurs incluent la définition des droits d'accès.

Accès à un attribut : `poignée.attribut`

```
Équation uneÉquation = new Équation();
double sol1 = uneÉquation.x1;   // accès en lecture
uneÉquation.coeffA = 1;         // accès en modification
```

Attention : Erreur de compilation si droit d'accès insuffisant !

Exemple d'erreur : droit d'accès insuffisant

```
1   class TestEquationErreur1 {
2       public static void main(String[] args) {
3           Equation eq = new Equation();
4           eq.coeffA = 1;
5       }
6   }
7   class Equation {
8       private double coeffA;
9       // ...
10  }
```

La compilation donne le résultat suivant :

```
TestEquationErreur1.java:4: coeffA has private access in Equation
        eq.coeffA = 1;
          ^
1 error
```

Remarque : Le compilateur Java sait que l'attribut `coeffA` est défini dans la classe `Equation` mais le droit d'accès n'est pas suffisant pour être utilisé dans `TestEquationErreur1`.

Exemple d'erreur : variable locale non initialisée

```
1  class TestEquationErreur2 {
2      public static void main(String[] args) {
3          Equation eq;
4          eq.coeffA = 1;
5      }
6  }
```

La compilation donne le résultat suivant :

```
TestEquationErreur2.java:4: variable eq might not have been initialized
        eq.coeffA = 1;
        ^
1 error
```

Remarque : Le compilateur Java vérifie qu'une variable locale est initialisée avant d'être utilisée.

Exemple d'erreur : utilisation d'une poignée nulle

```
1  class TestEquationErreur3 {
2      public static void main(String[] args) {
3          Equation eq = null;
4          eq.coeffA = 1;
5      }
6  }
```

L'exécution donne le résultat suivant :

```
Exception in thread "main" java.lang.NullPointerException
        at TestEquationErreur3.main(TestEquationErreur3.java:4)
```

Attention : Si la poignée est **`null`**, l'erreur n'est signalée qu'à l'exécution.

Attributs : règle sur le droit d'accès

Règles : Un attribut devrait toujours être déclaré `private` pour respecter :

– le *principe d'accès uniforme* : l'utilisateur n'a pas à savoir s'il accède à une information calculée ou stockée

– le *principe de la protection en écriture* et permettre ainsi à l'auteur de la classe de garantir l'intégrité des objets de la classe.

Exercice 7 Définir une date avec jour, mois et année.

Indiquer comment faire pour changer la valeur du mois.

Indiquer comment faire pour obtenir la valeur du mois.

Méthodes

Définition : Une méthode est une unité de calcul (fonction au sens de C) qui exploite l'état d'un objet (en accès et/ou en modification).

– Une méthode est identifiée par sa classe, son nom, le nombre et le type de ses paramètres (surcharge T. 83).
– Elle possède également un type de retour qui est **`void`** si elle ne retourne rien (procédure).
– Elle a un code entre accolades.

Syntaxe

```
/** Documentation javadoc de la méthode décrivant l'objectif de la méthode.
  * Les paramètres et le retour de la méthode sont également documentés :
  * @param nomParamètre description de nomParamètre
  * @return description de l'information retournée (si non void)
  */
<modifieurs> TypeRetour idMéthode( [Type1 p1[, Type p]*]) {
    ...
}
```

Méthodes : exemples

Définir les méthodes `set` et `delta` sur la classe `Equation`.

```
/** Initialiser une équation à partir de la valeur de ses coefficients.
 * @param a coefficient de x<sup>2</sup>
 * @param b coefficient de x
 * @param c coefficient constant
 */
public void set(double a, double b, double c) {
    this.coeffA = a;
    this.coeffB = b;
    this.coeffC = c;
}

/** Obtenir le discriminant de l'équation.
 * @return le discriminant de l'équation
 */
private double delta() {
    return this.coeffB * this.coeffB - 4 * this.coeffA * this.coeffC;
}
```

Remarque : `delta()` est **`private`** car elle n'a pas à être utilisée de l'extérieur.

Méthodes : utilisation

Une méthode est toujours appliquée sur une poignée (comme un attribut) et est exécutée sur l'objet associé à cette poignée.

```
poignée.méthode(p1, ..., pn);   // Forme générale (envoi de message)

Équation eq = new Équation();   // Créer un objet Équation attaché à eq
eq.set(1, 5, 6);                // Initialiser l'équation (méthode void)
double delta = eq.delta();      // Utiliser une méthode non void
eq.résoudre();
eq.delta();                     // Valide mais quel intérêt ?

Équation eq2 = null;            // pas d'objet attaché à eq
eq2.set(1, 4, 4);               // ==> NullPointerException
```

Remarque : Appliquer une méthode sur une poignée `null` provoque une exception (NullPointerException).

Liaison statique : Le compilateur accepte l'appel p.m(a_1, ...,a_n) **ssi** il existe, dans la classe définissant le type de la poignée p, une méthode m d'arité n telle que les types de a_1, ..., a_n sont compatibles avec sa signature.

Méthodes : le paramètre implicite `this`

Une méthode est appliquée à un objet, appelé *récepteur*, (généralement à travers une poignée) et manipule l'état de cet objet.

Le récepteur est un paramètre implicite car il n'apparaît pas dans la signature de la méthode. À l'intérieur du code de la méthode, on peut y faire référence en utilisant le mot-clé **`this`**.

```
public void set(double a,
        double b, double c) {
    this.coeffA = a;
    this.coeffB = b;
    this.coeffC = c;
}
```

```
public void set(double a,
        double b, double c) {
    coeffA = a; // this implicite !
    coeffB = b;
    coeffC = c;
}
```

Rq : **`this`** est nécessaire si un paramètre porte le même nom qu'un attribut.

Conseil : Mettre **`this`**.

Exercice 8 Écrire une méthode `supérieur` ($>$) si `inférieur` ($<$) est définie.

Définir une classe

Exercice 9 : Compteur

Un compteur a une valeur (entière) qui peut être incrémentée d'une unité. Elle peut également être remise à 0. On suppose également qu'il est possible d'initialiser le compteur à partir d'une valeur entière positive.

9.1 Modéliser en utilisant la notation UML la classe Compteur.

9.2 Écrire un programme de test de la classe Compteur.

9.3 Écrire en Java la classe Compteur.

9.4 Comment être sûr que la valeur du compteur est toujours positive ?

Afficher une équation

– **Première idée :** définir une méthode « afficher » pour faire `eq.afficher()`

```
1  /** Afficher cette équation.  */
2  public void afficher() {
3      System.out.print(this.coeffA + "*x2 + "
4              + this.coeffB + "*x + " + this.coeffC + " = 0");
5  }
```

– **Deuxième idée :** faire directement : `System.out.println(eq);`

Compile, s'exécute mais affiche : `Équation@8814e9`

Java utilise la méthode **`toString()`** (si définie dans la classe, voir T. 224 et 217) pour convertir l'objet en chaîne de caractères. En définissant :

```
1  /* Obtenir la représentation de cette équation sous forme
2   * d'une chaîne de caractères. */
3  public String toString() {
4      return "" + this.coeffA + "*x2 + "
5              + this.coeffB + "*x + "
6              + this.coeffC + " = 0";
7  }
```

on obtient alors l'affichage : `1.0*x2 + 5.0*x + 6.0 = 0`

Surcharge

Définition : En Java, indiquer le nom d'une méthode n'est pas suffisant pour l'identifier. Il faut préciser :

– la classe à laquelle elle appartient ;

– son nom ;

– son nombre de paramètres ;

– le type de chacun de ses paramètres.

Exemple : Les méthodes suivantes sont toutes différentes :

```
class A {
  void afficher()                 // afficher sans paramètre
  void afficher(int i)            // afficher un entier
  void afficher(long i)           // afficher un entier long
  void afficher(String str)       // afficher une chaîne
  void afficher(String s, int largeur); // sur une certaine largeur
  void afficher(String s, int largeur, char mode); // mode == 'c', 'g', 'd'
  void afficher(int nbFois, String str);        // contre-exemple !
}
```

Surcharge : résolution

Le même nom peut être utilisé pour nommer des méthodes différentes.

$\Longrightarrow$ Pour résoudre un appel de méthode, le compilateur s'appuie également sur le nombre et le type des paramètres effectifs :

```
// On suppose que l'on est dans le corps d'une méthode de la classe A
afficher("Bonjour");            // afficher(String)
afficher(true);                 // Erreur à la compilation
afficher(10L);                  // afficher(long)
afficher(10);                   // afficher(int)
afficher("Bonjour", 20, 'c');   // afficher(String, int, char)
afficher();                     // afficher()
afficher(20, "Bonjour");        // afficher(int, String)
```

Intérêt : Éviter de multiplier les noms (`afficherInt`, `afficherLong`, etc.).

Conseil : Respecter Le sens sous-entendu par le nom de la méthode.

Exercice 10 Expliquer comment la surcharge permet de simuler des valeurs par défaut aux paramètres de méthodes (à la C++).

Exercice 11 Quelles méthodes de Fraction pourraient être surchargées ?

Exemples de surcharge

Exercice 12 On considère la classe suivante. Indiquer pour chaque appel dans la méthode main qu'elle est la méthode réellement appelée.

```
class TestSurcharge {
  static void m0(int a, int b)          { System.out.println("m0(i,i)"); }
  static void m1(double a, double b)    { System.out.println("m1(d,d)"); }

  static void m2(double a, double b)    { System.out.println("m2(d,d)"); }
  static void m2(double a, int b)       { System.out.println("m2(d,i)"); }
  static void m2(int a, double b)       { System.out.println("m2(i,d)"); }
  static void m2(int a, int b)          { System.out.println("m2(i,i)"); }

  static void m3(double d, int i)       { System.out.println("m3(d,i)"); }
  static void m3(int i, double d)       { System.out.println("m3(i,d)"); }

  public static void main(String[] args) {
      m0(1, 1);         m1(1, 1);       m2(1, 1);       m3(1, 1);
      m0(2, 2.0);       m1(2, 2.0);     m2(2, 2.0);     m3(2, 2.0);
      m0(3.0, 3);       m1(3.0, 3);     m2(3.0, 3);     m3(3.0, 3);
      m0(4.0, 4.0);     m1(4.0, 4.0);   m2(4.0, 4.0);   m3(4.0, 4.0);
  }
}
```

Surcharge et espace de noms

Il est possible de définir la même méthode (même nom, même nombre de paramètres, et mêmes types de paramètres) dans deux classes différentes.

```
class A {
    /** afficher en commençant
      * par un décalage */
    void afficher(int décalage);
}
```

```
class B {
    /** afficher nb fois */
    void afficher(int nb);
}
```

Pour savoir quelle méthode choisir, le compilateur s'appuie sur le type du récepteur (le type de la poignée sur laquelle la méthode est appliquée).

$\Longrightarrow$ La classe définit un **espace de noms**.

```
A x1;   // poignée x1 de type A
B x2;   // poignée x2 de type B
...     // les initialisations de x1 et X2
x1.afficher(5);         // afficher(int) de la classe A
x2.afficher(10);        // afficher(int) de la classe B
```

Remarque : Pour certains auteurs, il s'agit de surcharge. Pour nous, ce sont des espaces de noms différents.

Méthodes : passage de paramètres

- En Java, un seul mode de passage : le **passage par valeur**.
- Mais **deux types de données** manipulées :
  - les données de **types primitifs** qui sont des valeurs
  - les **objets** qui sont toujours manipulés à travers leur adresse
- Si le paramètre est un « objet », c'est donc un passage par valeur de la poignée qui est équivalent à un **passage par référence** de l'objet.
  $\Longrightarrow$ la méthode appelée peut modifier l'état de l'objet et la modification sera visible de l'appelant
- L'appelant ne verra jamais les modifications apportées à la valeur du paramètre transmis (type primitif ou poignée).
- Une méthode qui retourne un objet, retourne une poignée sur l'objet.
  $\Longrightarrow$ risque de rupture de l'encapsulation.

Passage de paramètres : exemple

Exercice 13 : Comprendre le passage de paramètres en Java

Étant donnée la classe Compteur définie dans l'exercice 9 et dont le texte est donné listing 2, nous définissons la classe TestParametres (listing 1).

Son exécution donne le résultat suivant :

```
a = 10
c = 11
c = 11
```

Expliquer les résultats obtenus lors de l'exécution de TestParametres.

Listing 1 – Le fichier TestParametres.java

```
public class TestParametres {

    static void incrémenter(int n)          { n++; }
    static void incrémenter(Compteur cptr) { cptr.incrémenter(); }
    static void reset(Compteur cptr)        { cptr = new Compteur(); }

    public static void main(String[] args) {
        int a = 10;
        incrémenter(a);
        System.out.println("a = " + a);              // Valeur de a ?

        Compteur c = new Compteur();
        c.set(10);
        incrémenter(c);
        System.out.println("c = " + c.getValeur());  // valeur de c ?

        reset(c);
        System.out.println("c = " + c.getValeur());  // valeur de c ?
    }

}
```

Listing 2 – Le fichier Compteur.java

```
/** Définition d'un compteur avec incrémentation.
 * @author      Xavier Crégut
 * @version     1.4 */
public class Compteur {
    private int valeur;         // valeur du compteur

    /** Augmenter d'une unité le compteur */
    public void incrémenter()           { this.valeur++; }

    /** Obtenir la valeur du compteur.
     * @return la valeur du compteur.
     */
    public int getValeur()              { return this.valeur; }

    /** Remettre à zéro le compteur */
    public void raz()                   { this.set(0); }

    /** Modifier la valeur du compteur.
     * @param valeur la nouvelle valeur du compteur
     */
    public void set(int valeur) { this.valeur = valeur; }
}
```

Constructeurs

Rappel : La création d'un objet nécessite en fait deux étapes :

1. La *réservation de la zone mémoire nécessaire*. Ceci est entièrement réalisé par le compilateur (à partir des attributs de la classe).
2. L'*initialisation de la zone mémoire*. Le compilateur ne peut, *a priori*, faire qu'une initialisation par défaut des attributs.

Il y a alors risque d'avoir une initialisation incorrecte, ou non conforme aux souhaits de l'utilisateur (exemple : Fraction, Date, etc.).

Les **constructeurs** permettent alors :

– au programmeur d'indiquer comment un objet peut être initialisé ;

– au compilateur de vérifier que tout objet créé est correctement initialisé.

Exemple : Une équation peut (doit !) être initialisée à partir de la donnée des valeurs de ses coefficients.

Les constructeurs en Java

En Java, un constructeur ressemble à une méthode mais :

– il a nécessairement le même nom que la classe ;

– il ne peut pas avoir de type de retour ;

Exemple : Un constructeur pour les équations

```
/** Initialiser une équation à partir de ses coefficients ... */
public Équation(double a, double b, double c) {
    this.coeffA = a;
    this.coeffB = b;
    this.coeffC = c;
}
```

Remarque : Un constructeur a un droit d'accès (idem attributs et méthodes).

Attention : Mettre un type de retour supprime le caractère « constructeur ». On a alors une simple méthode !

Constructeur et surcharge

Même si le nom d'un constructeur est imposé, la surcharge permet de définir plusieurs constructeurs pour une même classe.

Exemple : On peut souhaiter initialiser une équation à partir de la somme et du produit de ses racines.

```
/** Initialiser une équation à partir de la somme
 * et du produit de ses racines
 * @param somme somme des racines
 * @param produit produit des racines
 */
public Équation(double somme, double produit) {
    this.coeffA = 1;
    this.coeffB = - somme;
    this.coeffC = produit;
}
```

Exercice 14 Peut-on définir un constructeur qui initialise une équation à partir de ses deux solutions ? Pourquoi ?

Appel d'un autre constructeur de la classe

Problème : Plutôt que d'avoir les mêmes trois affectations que dans le premier constructeur, pourquoi ne pas utiliser le premier constructeur ?
On peut le faire en utilisant `this(...)` :

```
/** Initialiser une équation à partir de la somme
 * et du produit de ses racines
 * @param somme somme des racines
 * @param produit produit des racines
 */
public Équation(double somme, double produit) {
    this(1, -somme, produit);
        // Appel au constructeur  Équation(double, double, double)
        // Cet appel est nécessairement la première instruction !
}
```

Attention : L'appel à l'autre constructeur est *nécessairement* la première instruction du constructeur.

Bien sûr, les paramètres effectifs de `this(...)` permettent de sélectionner l'autre constructeur.

Création d'un objet

La création d'un objet en Java est alors :

```
new <Classe>(<paramètres effectifs>);
```

Les paramètres effectifs sont fournis par l'utilisateur de la classe et sont utilisés par le compilateur pour sélectionner le constructeur à appliquer (surcharge).

Si aucun constructeur n'est trouvé, le compilateur signale une erreur.

```
new Équation(1, 5, 6);  // OK   x^2 + 5x + 6
new Équation(2, 1);     // OK   x^2 - 2x + 1
new Équation(10);       // Incorrect !
new Équation();         // Incorrect !
```

Conséquence : Le constructeur permet de rendre atomique la réservation de la mémoire et son initialisation.

Le constructeur par défaut

On appelle **constructeur par défaut** le constructeur qui ne prend pas de paramètres.

Justification : C'est le constructeur utilisé si aucun paramètre n'est fourni lors de la création d'un objet.

Règle : Le constructeur par défaut est régi par deux règles :

1. Si **aucun** constructeur n'est défini sur une classe, le système synthétise un constructeur par défaut (qui ne fait rien), le *constructeur prédéfini*.
2. Dès qu'un constructeur est défini sur une classe, le constructeur par défaut synthétisé par le système disparaît.

Remarque : Le programmeur peut toujours définir un constructeur par défaut... mais y a-t-il intérêt ?

Un constructeur n’est pas une méthode

Même si un constructeur ressemble à une méthode, ce n’est pas une méthode :

– il n’a pas de type de retour ;
– il a une syntaxe d’appel spécifique (associé à l’opérateur `new`) ;
– il ne peut pas être appliqué sur un objet (sauf lors de sa création) ;
– il ne peut pas être redéfini dans une sous-classe (cf héritage T. 195).
– le caractère de « constructeur » ne s’hérite pas (cf héritage T. 195).

Autres manières d'initialiser un objet

Outre les constructeurs, Java permet au programmeur de définir :

– des *valeurs par défaut pour les attributs*. Elles remplacent alors les valeurs par défaut du langage ;

– des *initialiseurs*. Ce sont des instructions mises entre accolades. S'il y a plusieurs initialiseurs, ils sont exécutés dans l'ordre d'apparition.

Exemple : La classe Fraction.

```
public class Fraction {
  private int num;      // valeur par défaut de Java : 0
  private int dén = 1;  // valeur par défaut du programmeur : 1
  {    // initialiseur
    num = 0;
    dén = 5;
  }
  {    // initialiseur 2
    dén = 1;
  }
}       // dén prendra successivement les valeurs : 0, 1, 5 et 1
```

Initialisation d'objet : Bilan

Voici ce que fait Java lors de la création d'un objet :

1. Initialisation des attributs avec la valeur par défaut de leur type ;
2. Utilisation des valeurs par défaut fournies par le programmeur ;
3. Exécution des initialiseurs dans leur ordre d'apparition ;
4. Exécution du constructeur :
   - si aucun constructeur n'est défini sur la classe, c'est le constructeur prédéfini qui est utilisé. Le programmeur ne doit pas fournir de paramètre au constructeur ;
   - si au moins un constructeur est défini sur la classe, le programmeur doit fournir des paramètres (éventuellement aucun !) qui permettent au compilateur de choisir l'un des constructeurs de la classe.

Conseil : Préférer les constructeurs explicites aux autres initialisations (valeurs par défaut, initialiseurs, constructeur par défaut synthétisé).

Destructeurs

Destructeur : méthode appelée automatiquement quand un objet disparaît (quand sa mémoire est libérée). Il est le pendant du constructeur.

Conséquence : Son code contient les traitements à réaliser lors de la disparition de l'objet : libération des ressources utilisées (mémoire...), etc.

Attention : Il ne peut y avoir qu'un seul destructeur par classe.

En Java : En Java, le destructeur est :

```
protected void finalize()
```

En Java, le ramasse-miettes rend souvent inutile la définition du destructeur.

Attention : En raison du ramasse-miettes, aucune garantie n'existe en Java sur quand le destructeur sera appelé... ou s'il sera réellement appelé.
$\Longrightarrow$ Définir une méthode explicite (dispose, close, destroy, etc.)...
Et dire aux utilisateurs de penser à l'appeler (documentation) !

Les attributs et méthodes de classe

Exercice 15 On considère une classe Date qui a pour attributs l'année, le numéro du mois et le numéro du jour dans le mois. On souhaite définir sur cette classe une méthode incrémenter qui fait passer la date au lendemain.

Comment écrire le code de cette méthode ?

Attributs et méthodes de classe : on les a déjà vus !

Que penser de l'expression suivante :

```
Math.sqrt(4)    // racine carrée de 4
```

sqrt(double) est bien une méthode mais elle n'est pas appliquée à un objet mais à la classe Math. C'est une **méthode de classe**.

On constate que sqrt(double) travaille exclusivement sur son paramètre.

Que penser de l'instruction suivante :

```
System.out.println("Que␣suis-je␣?");
```

out est un attribut (puisqu'il n'est pas suivi de parenthèses) mais il est appliqué à une classe (System). C'est parce qu'il n'est pas spécifique d'un objet particulier : la sortie standard est la même pour tout le monde !

C'est en fait un **attribut de classe**.

Attributs et méthodes de classe : en Java

On distingue :

– *attributs et méthodes d'instance :* toujours appliqués à un objet (éventuellement **`this`**). On les appelle simplement attributs et méthodes ;

– *attributs et méthodes de classe* : appliqués à une classe, non à un objet.

Syntaxe : C'est le modifieur **`static`** qui indique si un attribut ou une méthode est de classe ou non.

Droit d'accès : Les mêmes que pour les attributs et méthodes d'instance.

```
public class Math {
  public static double sqrt(double) {}
}
```

```
public class System {
  public static PrintStream out;
}
```

Utilisation : `NomClasse.attribut` ou `NomClasse.méthode(...)`

Si NomClasse est la classe « courante », il peut être omis.

Question : Que penser de la méthode principale ?

En UML : On souligne la caractéristique de classe (ou on la préfixe par `$`).

Attribut de classe

Définition : Un attribut de classe est un attribut non spécifique à un objet donné mais commun à (et partagé par) tous les objets de la classe.

Intérêt : Équivalent à une variable globale dont la portée est la classe.

Exemple : Compter le nombre d'équations créées.

Le compteur est une information relative à la classe mais qui doit être mise à jour par chacune des instances (dans chaque constructeur de la classe).

```
public class Équation {
  private static int nbCréées = 0;      // initialisation explicite

  public Équation(double a, double b, double c) {
    nbCréées++;          // idem : Équation.nbCréées++;
    ...                  // inutile de modifier les autres constructeurs
  }                      // s'ils s'appuient sur celui-ci : this(...)
}
```

Attention : À éviter ! Comment compter deux sortes d'équations ?

Initialisation des attributs de classe

Les attributs de classe sont initialisés au chargement de la classe.

Ils sont initialisés avec la valeur par défaut de leur type, puis la valeur par défaut fournie par le programmeur, et enfin par l'initialiseur statique (un bloc d'instructions précédé de **`static`**).

```
class UneClasse {
  static public int i;      // initialisé à 0 (valeur par défaut des int)
  public static int j = 10; // valeur par défaut du programmeur
  public static int k;

  static {      // initialiseur statique
    k = 1;  // il est utile pour les initialisations complexes (tableaux)
    j = 5;  // 5 remplace la valeur 10 fournie comme défaut
  }
}
```

Règle : Comme ceux d'instance, déclarer les attributs de classe **`private`**.

Attention : Les attributs de classe limitent l'extensibilité (variable globale)

Méthodes de classe

Définition : Une méthode de classe est une méthode indépendante de toute instance de la classe. Elle est donc appliquée à une classe et non à un objet.

Conséquence : Une méthode de classe n'a pas de paramètre implicite (**`this`**) et ne peut donc pas utiliser les attributs et méthodes d'instance de sa classe.

```
public class Date {
    private int jour, mois, année;
    static private int nbCréées = 0;    // nombre de dates créées

    public static boolean estBissextile(int a) {
        return ((a % 4) == 0)           // divisible par 4
            && ((a % 100 != 0)          // et non divible par 100
                    || (a % 400 == 0)); // sauf si divisible par 400
        // impossible d'utiliser this.annee ou annee car static !
    }

    public static int getNbCréées() {
        return nbCréées;
    }
}
```

Exercice 16 Quand peut-on (doit-on) définir une méthode de classe ?

Méthode de classe et accès aux informations d'une classe

```
1  class A {
2      private int i;              // attribut d'instance
3      static private int k;       // attribut de classe
4
5      public void incI() {        // méthode d'instance
6          this.i++;
7      }
8
9      public static void incK() { // méthode de classe
10         k++;
11     }
12
13     public static void m(A a) { // méthode de classe
14         i++;
15         this.i++;
16         incI();
17         this.incI();
18         k++;
19         incK();
20         a.k++;
21         a.i++;
22         new A().i++;
23     }
24 }
```

Le résultat de la compilation :

```
1  MethodeClasseAccesMembres.java:14: non-static variable i cannot be
       referenced from a static context
2             i++;
3             ^
4  MethodeClasseAccesMembres.java:15: non-static variable this cannot
       be referenced from a static context
5             this.i++;
6             ^
7  MethodeClasseAccesMembres.java:16: non-static method incI() cannot
       be referenced from a static context
8             incI();
9             ^
10 MethodeClasseAccesMembres.java:17: non-static variable this cannot
       be referenced from a static context
11            this.incI();
12            ^
13 4 errors
```

Information de classe : Bilan

Un attribut de classe :

– est accessible de n'importe où (variable globale),

– **MAIS** est souvent un frein pour l'évolution de l'application (par exemple s'il faut différencier l'attribut suivant les contextes).

$\Longrightarrow$ Éviter les attributs de classe !... Ou être conscient des limites induites !

Une méthode de classe :

– est accessible de partout (à partir de sa classe),

– permet de conserver le caractère symétrique de certaines méthodes (comparaison),

– **MAIS** pas d'accès aux informations d'instance,

– **NI** redéfinition possible (voir T. 152 et 196), **NI** liaison dynamique (T. 168 et 217)

Fabrique statique

Une utilisation recommandée des méthodes de classe est de s'en servir à la place des constructeurs.

```
public class Equation {
  ...
  protected Equation(double a, double b, double c) { ... }

  public static Equation depuisCoefficients(double a, double b, double c) {
      return new Equation(a, b, c);
  }

  public static Equation depuisSommeEtProduit(double s, double p) {
      return new Equation(1, -s, p);
  }

  public static Equation depuisRacines(double x1, double x2) {
      return Equation.depuisSommeEtProduit(x1 + x2, x1 * x2);
  }
}
```

Remarque : Le constructeur n'est pas public pour obliger à utiliser les fabriques statiques.

Fabrique statique : utilisation

```
class Exemple {

    public static void main(String[] arguments) {
        Equation eq1 = Equation.depuisCoefficients(1, 5, 6);
        Equation eq2 = Equation.depuisSommeEtProduit(2, 1);
        Equation eq3 = Equation.depuisRacines(2, 1);
        ...
    }

}
```

Discussion sur les fabriques statiques

Avantages :

– les méthodes de classe ont un nom. Il peut donc être explicite !
– une méthode de classe n'est pas obligée de créer un nouvel objet à chaque appel. On peut retourner un objet déjà créé.
– la méthode peut retourner un objet d'un sous-type : Voir Interface (T. 152) et Héritage (T. 196).

Inconvénients :

– pas de différence syntaxique entre fabrique statique et méthodes de classe
– déviation de la norme (les constructeurs !)

$\Longrightarrow$ difficile de retrouver les fabriques statiques dans la documentation

Quelques *conventions* pour nommer : `valueOf` (conversion de type), `getInstance`.

2ème lecture : pourquoi le constructeur est défini **`protected`** et non **`private`** ?

Importation statique

Il existe une variante de la clause **`import`** qui permet d'accéder directement aux attributs et méthodes de classe.

```
1  import static java.lang.System.out; // importe une caractéristique
2  import static java.lang.Math.*;     // ou toutes
3
4  public class ImportationStatiqueMath {
5      public static void main(String[] args) {
6          out.println(sqrt(PI));
7          System.out.println(Math.sqrt(Math.PI));
8      }
9  }
```

Intérêt : Il est relativement faible :

– écrire `sqrt` plutôt que `Math.sqrt` ;

– utiliser directement des constantes : `RED` au lieu `Color.RED` ;

En fait, il vise à **éviter de mauvaises pratiques** : hériter (T. 195) des classes `Math` ou `java.awt.Color`.

Éléments méthodologiques

Les classes du point de vue des utilisateurs

Jusqu'à maintenant, nous avons défini une classe en nous plaçant du point de vue du programmeur chargé de la réaliser. Il est intéressant de se placer du point de vue des programmeurs qui l'utiliseront (les « utilisateurs »).

Point de vue du programmeur : une classe est composée de :
- *attributs* : stockage d'informations (conservent l'état de l'objet) ;
- *méthodes* : unités de calculs.

Point de vue de l'utilisateur : une classe est un ensemble de :
- *requêtes* : informations qui peuvent être demandées à la classe ;
- *commandes* : services réalisés par la classe.

Requêtes et commandes sont toujours à des opérations.
requête = fonction (méthode non void) et commande = procédure (void)

Le résultat d'une réquête peut être stocké (dans un attribut) ou calculé.

En Java, respecter le principe de l'accès uniforme nécessite de passer par des méthodes d'accès.

Illustration : réponse à l'exercice 9 (Compteur)

1. Définir la vue utilisateur

Compteur
requêtes valeur : int
commandes raz incrémenter set(valeur : int)

```
public class Compteur {

  public int getValeur()      { ... }

  public void raz()           { ... }

  public void incrémenter()   { ... }

  public void set(int valeur) { ... }

}
```

- Chaque requête et chaque commande devient une méthode
- La requête `valeur` devient soit `getValeur()`, soit `valeur()`
- On sait donc comment utiliser un compteur !

2. Définir le(s) constructeur(s)

Compteur
requêtes valeur : int
commandes raz incrémenter set(valeur : int)
constructeurs Compteur(valeur : int)

```
public class Compteur {

  public Compteur(int valeur) { ... }

  public int getValeur()      { ... }

  public void raz()           { ... }

  public void incrémenter()   { ... }

  public void set(int valeur) { ... }

}
```

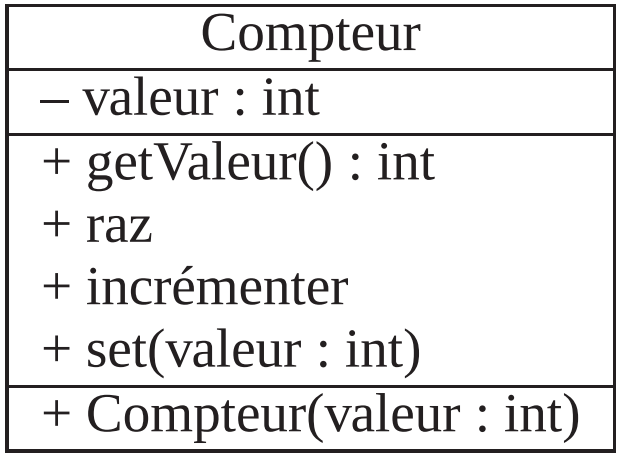
– On sait donc aussi créer un compteur.

3. Programme de test

```
 1  class TestCompteur {
 2      public static void main(String[] args) {
 3          Compteur c = new Compteur(10);
 4          assert c.getValeur() == 10;
 5          c.incrémenter();
 6          assert c.getValeur() == 11;
 7          c.raz();
 8          assert c.getValeur() == 0;
 9          c.set(5);
10          assert c.getValeur() == 5;
11      }
12  }
```

- Compiler : `javac ExempleCompteur.java`
- Exécuter : `java -ea ExempleCompteur` (*ea* comme *enable assertions*)
- On exécute avant d'écrire l'implantation de la classe Compteur !
- Meilleure technique : utiliser JUnit !

4. Définir la vue programmeur : choisir les attributs




```
public class Compteur {
  private int valeur;

  public Compteur(int valeur) { ... }

  public int getValeur()      { ... }

  public void raz()           { ... }

  public void incrémenter()   { ... }

  public void set(int valeur) { ... }
}
```

– Il ne reste plus (!) qu'à écrire le code des méthodes.

5. Écrire le code

```
1   /** Définition d'un compteur avec incrémentation.
2    * @author      Xavier Crégut
3    * @version     1.4 */
4   public class Compteur {
5       private int valeur;         // valeur du compteur
6
7       /** Initialiser un compteur à partir de sa valeur initiale.
8        * @param valeurInitiale valeur initiale du compteur
9        */
10      public Compteur(int valeurInitiale) { this.valeur = valeurInitiale; }
11
12      /** Augmenter d'une unité le compteur */
13      public void incrémenter()           { this.valeur++; }
14
15      /** Obtenir la valeur du compteur.
16       * @return la valeur du compteur.
17       */
18      public int getValeur()              { return this.valeur; }
19
20      /** Remettre à zéro le compteur */
21      public void raz()                   { this.set(0); }
22
23      /** Modifier la valeur du compteur.
24       * @param valeur la nouvelle valeur du compteur
25       */
26      public void set(int valeur) { this.valeur = valeur; }
27  }
```

Comment définir une classe

Pour définir une classe, je conseille de suivre les étapes suivantes :

1. Définir la spécification d'un point de vue utilisateur :
   - Spécifier les requêtes
   - Spécifier les commandes
2. Spécifier les constructeurs
3. Préparer les tests
4. Choisir une représentation (choix des attributs)

   Les attributs sont définis **`private`**.
5. Implanter les requêtes et les commandes sous forme de méthodes.

   Ce peut être une simple méthode d'accès pour les requêtes qui correspondent à un attribut.
6. Tester au fur et à mesure !

Conventions de codage : règles pour nommer

Ces conventions de codage peut être trouvées à l'URL :

```
http://java.sun.com/docs/codeconv/index.html
```

Règles pour nommer :

- paquetage : tout en minuscule (`java.lang`) ;
- classe : les initiales en majuscule (`Equation`, `MaClasse`) ;
- méthode : en minuscule sauf l'initial des mots internes en majuscule (`résoudre`, `setCoeffA`, `maMéthode`) ;
- attribut : comme les méthodes ;
- constante : tout en majuscule avec les mots séparés par des soulignés (_) (`MAX`, `MA_CONSTANTE`).

Conventions de codage : structure d'un fichier

```
package ...;    // définition du paquetage d'appartenance

import ...;     // importation des classes utilisées

/**
 *  Commentaire de documentation de la classe
 *  @version
 *  @author     Prénom Nom
 */

public class MaClasse { // ==> Le fichier est MaClasse.java

    /* commentaire d'implémentation de la classe */

    // variables (attributs) de classe

    // variables (attributs) d'instance

    // constructeurs

    // méthodes.  Les méthodes sont regroupées par thème
    //            et non par droit d'accès.

}
```

Conventions de codage : règles diverses

- **Indentation :** 4 espaces, la tabulation est fixée à 8.
- **Longueur des lignes :** 80 caractères maximum. Les lignes sont coupées de préférence après une virgule ou devant un opérateur.
- Déclarer une seule variable par ligne (facilite sa documentation) :

```
int maVariable;          // sa documentation
```

  Déclarer les variables en début de bloc (bof !).
- Ne pas mettre de `()` après **`return`** (sauf si améliorent la compréhension).
- Pas d'espace entre méthode et `(`. Mettre un espace entre mot-clé et `(`, autour d'un opérateur, devant une `{`, après `,` et `;`.

```
while␣(Math.sqrt(x)␣>␣y)␣{
␣␣␣␣...
}
```

Conventions de codage : programmation (1/2)

– Ne pas mettre les attributs (de classe ou d'instance) publics.
  Définir *éventuellement* des accesseurs et des modifieurs.
– Utiliser la classe et non un objet pour accéder à un attribut ou méthode de classe.

```
MaClasse.méthodeDeClasse();      // OUI
unObjet.méthodeDeClasse();       // À ÉVITER
```

– Ne pas utiliser directement des constantes littérales (sauf pour -1, 0 et 1).
– Éviter les affectations multiples (`a = b = c;`) ou dans des expressions

```
a = (d = b + c) + r;
```

– Utiliser les parenthèses dans des expressions mélangeant plusieurs opérateurs.

Conventions de codage : programmation (2/2)

– Faire que la structure du programme ressemble à votre intention.

À éviter

```
if (condition) {
    return true;
} else {
    return false;
}
```

À préférer

```
return condition;
```

À éviter

```
if (condition) {
    return x;
}
return y;
```

À préférer

```
return (condition ? x : y);
```

– Mettre `XXX` dans un commentaire pour signaler un code maladroit mais qui fonctionne et `FIXME` pour un code qui ne fonctionne pas.

Les tableaux

Les tableaux en Java se rapprochent beaucoup des objets :

– ils sont accessibles par une poignée ;

```
int[] tab1;     // tab1 est une poignée sur un tableau (tab1 == null)
int tab2[];     // on peut déclarer les tableaux comme en C
Type[] tab;     // une poignée tab sur un tableau de Type
```

– ils sont créés dynamiquement en utilisant l'opérateur **new**.

```
tab1 = new int[5];  // création d'un tableau de 5 entiers attaché à tab1
tab = new Type[capacité];      //création d'un tableau de capacité Type
```

Mais ce ne sont pas des objets :

– ils ont une syntaxe spécifique (les crochets) ;

– ils étaient le seul type générique de Java (paramétré par un type, celui des éléments du tableau) avant la version 1.5.

Caractéristiques d'un tableau

– Un tableau non créé ne peut pas être utilisé (`NullPointerException`)

– La capacité du tableau est obtenue par l'« attribut » `length`.

```
double tab[] = new double[10];
int nb = tab.length;              // nb == 10 (nb de cases allouées)
```

– L'accès à un élément se fait par les crochets ([]).

Les indices sont entre 0 (premier élément) et `length-1` (dernier élément)

Sinon erreur signalée par l'exception `ArrayIndexOutOfBoundsException`.

```
for (int i = 0; i < tab.length; i++) {
    tab[i] = i;
}
double p = tab[0];                // premier élément
double d = tab[tab.length-1];     // dernier élément
double e = tab[tab.length];       // ArrayIndexOutOfBoundsException
```

– L'affectation de deux tableaux est une affectation de poignée (partage).

On peut utiliser `System.arraycopy(...)`.

Caractéristiques d'un tableau (suite)

- Lorsqu'un tableau est créé (**`new`**), chacun de ses éléments est initialisé avec la valeur par défaut de son type (**`false`**, 0, **`null`**).
- Il est possible d'initialiser explicitement le tableau :

```
int[] petitsNbPremiers = { 3, 5, 7, 11, 13 };
int nb = petitsNbPremiers.length;       // nb == 5
String[] nomJours = { "lundi", "mardi", "mercredi", ..., "dimanche" };
nb = nomJours.length;                   // nb == 7
```

- Les tableaux ne peuvent pas être redimensionnés (length ne peut pas changer de valeur). Voir `java.util.ArrayList`.
- À l'exception des tableaux de caractères, l'affichage par `System.out.println` n'est pas lisible.

```
– System.out.println("nomJours = " + nomJours);
  --> nomJours = [Ljava.lang.String;@bd0108
```

Tableaux d'objets

On peut bien sûr créer des tableaux d'objets. Tout fonctionne comme les tableaux de types élémentaires sauf que le contenu d'une case est une poignée sur un objet du type précisé.

```
 1  public class TableauÉquations {
 2      public static void main (String args []) {
 3           Équation[] système = new Équation[3];
 4           système[0] = new Équation(1, 5, 6);
 5           système[1] = new Équation(4, 4);
 6           for (int i = 0; i < système.length; i++) {
 7              système[i].résoudre();
 8              System.out.print("Équation " + (i+1) + " : ");
 9              système[i].afficher();
10              System.out.println("x1 = " + système[i].x1);
11              System.out.println("x2 = " + système[i].x2);
12           }
13      }
14  }
```

Résultat de l'exécution

```
Équation 1 : 1.0∗x2 + 5.0∗x + 6.0 = 0
x1 = -2.0
x2 = -3.0
Équation 2 : 1.0∗x2 + -4.0∗x + 4.0 = 0
x1 = 2.0
x2 = 2.0
Exception in thread "main" java.lang.NullPointerException
        at TableauÉquations.main(TableauÉquations.java:7)
```

Autre manière d'écrire le programme (Java 1.5)

```
1    public static void main (String args []) {
2      Équation[] système = { new Équation(1, 5, 6),
3          new Équation(4, 4), null };
4      for (Équation eq : système) {
5        eq.résoudre();
6        System.out.print("Équation␣:␣");  // sans numéro !
7        eq.afficher();
8        System.out.println("x1␣=␣" + eq.x1);
9        System.out.println("x2␣=␣" + eq.x2);
10     }
11   }
```

Tableaux à plusieurs dimensions

Les tableaux à deux dimensions (ou plus) sont en fait des tableaux de tableaux (de tableaux...). Ils peuvent être initialisés de deux manières.

1. Allocation de toutes les cases en une seule fois

```
1    int[][] matrice = new int[2][3];
2    for (int i = 0; i < 2; i++)
3      for (int j = 0; j < 3; j++)
4        matrice[i][j] = i+j;
5    afficher(matrice);
```

Remarque : On a un tableau de tableaux. On peut donc manipuler une « ligne » par l'intermédiaire d'une poignée.

```
1    // permuter les deux premières lignes
2    int[] ligne = matrice[0];
3    matrice[0] = matrice[1];
4    matrice[1] = ligne;
5    afficher(matrice);
```

Tableaux à plusieurs dimensions (suite)

2. Allocation individuelle de chacun des (sous-)tableaux

```
1  //              Le triangle de Pascal
2  // Créer le tableau de lignes
3  int[][] triangle = new int[10][];
4  // Construire la première ligne
5  triangle[0] = new int[2];
6  triangle[0][0] = triangle[0][1] = 1;
7  // Construire les autres lignes
8  for (int i = 1; i < triangle.length; i++) {
9    // Création de la (i+1)ème ligne du triangle
10   triangle[i] = new int[i+2];
11   triangle[i][0] = 1;
12   for (int j = 1; j < triangle[i].length - 1; j++) {
13     triangle[i][j] = triangle[i-1][j-1] + triangle[i-1][j];
14   }
15   triangle[i][i+1] = 1;
16 }
17
18 afficher(triangle);
```

Tableaux à plusieurs dimensions : utilisation

Un tableau à plusieurs dimensions est un tableau de tableaux dont :

– les cases peuvent ne pas être allouées (`null`) ;

– toutes les cases (« lignes ») n'ont pas nécessairement la même capacité.

Exemple : Afficher un tableau à deux dimensions d'entiers.

```
1  static void afficher(int[][] mat) { // On suppose mat != null
2      for (int i = 0; i < mat.length; i++) {
3          if (mat[i] == null) {   // mat[i] non alloué
4              System.out.println();
5          } else {
6              System.out.print(mat[i][0]);
7              for (int j = 1; j < mat[i].length; j++) {
8                  System.out.print(", " + mat[i][j]);
9              }
10             System.out.println();
11         }
12     }
13 }
```

La classe String

Attention : Les « String » sont des objets. Elles sont donc accessibles au moyen de poignées.

```
String s0;      // Une poignée non initialisée (éventuellement null)
String s1 = null;       // Une poignée initialisée à null
String s2 = "";         // Une chaîne de caractères vide
String s3 = "Bonjour";
String s4 = new String("Bonjour");  // équivalent mais plus long !
String s5 =  s3 + "Xavier";         // concaténation
```

- `s0` et `s1` ne sont pas des chaînes de caractères mais des poignées nulles !
- Les chaînes de caractères littérales se notent entre guillemets.
- l'opérateur + correspond à la concaténation des chaînes de caractères (si l'un des paramètres est une chaîne).

```
int valeur = 5;
String s6 = "Total = "+ valeur + '.';          // Total = 5.
String s7 = "Total = "+ (valeur + '.');        // Total = 51
```

Attention : Les parenthèses changent l'évaluation !

Les « String » sont des objets

```
1  // Les « String » sont des objets
2  String s1 = "Bonjour";
3  int lg = s1.length();   // la longueur de la chaîne : 7
4  char initiale = s1.charAt(0);   // 'B'
5  char erreur = s1.charAt(lg);    // -> StringIndexOutOfBoundsException
6      //  les indices sur les chaînes vont de 0 à length()-1.
7
8  String s2 = s1.substring(0, 3); // "Bon"
9  String s3 = s1.substring(3, 7); // "jour"
10     // substring(int début, int fin) : sous-chaîne comprise
11     // entre les indices début inclus et fin exclu.
12
13 String s4 = s1.toUpperCase();   // BONJOUR
14 String s5 = s1.toLowerCase();   // bonjour
15 String s6 = s1.replace('o', '.');       // B.nj.ur
16 int p1 = s1.indexOf("on");      // 1
17 int p2 = s1.indexOf("on", 2);   // -1 (non trouvé !)
18
19 String s7 = "Un␣texte␣␣␣avec␣␣␣␣des␣blancs";
20 String s8 = s7.replaceAll("\\s+", "␣"); // remplace blancs par espace
21 String[] mots = s7.split("\\s+");
22     // mots == { "Un", "texte", "avec", "des", "blancs" }
23 // replaceAll et split ont une expression régulière comme paramètre
```

Comparaisons de chaînes (String)

Deux types d'égalité :

– l'**égalité physique** : deux chaînes correspondent au même objet en mémoire. C'est l'égalité de poignée (s1 == s2).

```
String s1 = "N7 2TR";
boolean estN7 = s1.substring(0, 2) == "N7";      // faux !
```

– l'**égalité logique** : deux chaînes sont composées des mêmes caractères.

```
boolean estN7 = s1.substring(0, 2).equals("N7"); // vrai !
```

Important : VRAI pour tout objet (toute classe), voir T. 224.

Autre comparaison logique :

```
int res = s1.compareTo(s2); // comparer suivant l'ordre lexicographique
     // négatif si s1 < s2 ; nul si s1.equals(s2) ; positif si s1 > s2
```

Rq : Équivalence entre `s1.equals(s2)` et `s1.compareTo(s2) == 0` !

Attention : Une chaîne de caractères (String) ne peut pas être altérée (*immuable* !). Il est donc nécessaire de construire de nouvelles chaînes. (voir StringBuffer, T. 138)

La classe StringBuffer

Un « StringBuffer » est une chaîne de caractères (comme « String ») qui peut être modifiée !

En plus de la majorité des méthodes de String, StringBuffer propose

- `append` : ajouter à la fin de la chaîne ;
- `insert` : ajouter à une position spécifiée de la chaîne.

Ces deux méthodes sont largement surchargées !

Passage de String à StringBuffer et inversement :

```
StringBuffer t1 = new StringBuffer("Bonjour");
StringBuffer t2 = new StringBuffer();   // Chaîne de longueur 0 !
String s2 = t1.toString();
StringBuffer t3 = new StringBuffer(s2);
StringBuffer t4 = "toto";               // Interdit !
```

Pourquoi String et StringBuffer ?

Le caractère immuable d'un String entraîne que :

– on peut faire du partage sans risque de modification par les autres
  $\Longrightarrow$ gain de mémoire et de temps (aucune copie nécessaire).
– toute « modification » nécessite la création d'une nouvelle String
  $\Longrightarrow$ perte de mémoire et de temps (allocation + copie)

StringBuffer permet de faire des modifications sur la même zone mémoire et évite donc les réallocations MAIS attention au partage ! ! !

Remarque : StringBuffer est utilisée par le compilateur pour implanter la concaténation des chaînes de caractères. L'instruction :

```
x = "a" + 4 + "c"
```

est transformée par le compilateur en :

```
x = new StringBuffer().append("a").append(4).append("c").toString()
```

String ou StringBuffer ? Un exemple !

```
public class ConcatenerString {
    public static void main(String[] args) {
         String chaîne = "";
         for (int i = 0; i < 100000; i++) {
            chaîne = chaîne + 'x';
         }
         System.out.println("Longueur de chaîne = " + chaîne.length());
    }
}

public class ConcatenerStringBuffer {
    public static void main(String[] args) {
         StringBuffer tampon = new StringBuffer();
         for (int i = 0; i < 100000; i++) {
            tampon.append('x');
         }
         String chaîne = tampon.toString();
         System.out.println("Longueur de chaîne = " + chaîne.length());
    }
}
```

String ou StringBuffer ?

Temps d'exécution :

```
> time java ConcatenerString
Longueur de chaîne = 100000
real 1335.64
user 1302.43
sys 26.20
```

```
> time java ConcatenerStringBuffer
Longueur de chaîne = 100000
real 0.70
user 0.58
sys 0.06
```

Les concaténations entre String sont plus claires que les opérations sur StringBuffer, donc :

– Préférer les « `StringBuffer` » si de nombreuses modifications doivent être apportées à une chaîne (par exemple dans une boucle).
– Préférer les « `String` » pour des affections simples de chaînes (le compilateur fera la transformation en `StringBuffer` pour vous !).

Voir aussi `StringBuilder` et `http://java.sun.com/developer/technicalArticles/Interviews/community/kabutz_qa.html`

Les classes enveloppes

- Les types primitifs (**`int`**, **`double`**, **`boolean`**...) ne sont pas des objets.
- Cependant, pour chacun des types primitifs, il existe une classe correspondante, appelée *classe enveloppe* (*wrapper*) dans `java.lang`.
- Chaque classe enveloppe permet de construire un objet à partir d'une valeur du type primitif, et possède une méthode d'accès retournant la valeur du type primitif.
- Les instances des classes enveloppes sont des objets *non altérables* !
- **Intérêt :** Les classes enveloppes n'ont d'intérêt que si l'on a besoin de considérer les types primitifs comme des objets (T. 179).
- Depuis Java 1.5, la conversion entre types primitifs et classes enveloppes est automatique (*auto boxing/unboxing*).

Exemple : caractéristiques de la classe enveloppe Integer

Les constantes de classe :

```
public static final int MAX_VALUE;      // Plus grande valeur entière
public static final int MIN_VALUE;      // Plus petite valeur entière
```

Les constructeurs :

```
public Integer(int);
public Integer(String);
```

Les méthodes de classe

```
static int parseInt(String s, int radix);
static int parseInt(String);
static Integer decode(String);  // plus générale : decode("0xFF")
```

Les méthodes de conversion vers d'autres types

```
int intValue();
float floatValue();
double doubleValue();
String toString();
```

Exemple d'utilisation de la classe Integer (Java 1.4)

```
1  Integer n1 = new Integer(15);           // construire depuis un int
2  Integer n2 = new Integer("100");        // construire depuis String
3
4  // int i1 = n1;         // Erreur : types différents !
5  int i1 = n1.intValue();
6  double d2 = n2.doubleValue();   // d2 == 100.0
7
8  int i3 = Integer.parseInt("421");       // i3 == 421
9  Integer n4 = Integer.decode("0xFFF");   // n4 == 4095
10
11 boolean test;
12 // test = n1 == i1;             // Types incompatibles
13 // test = i1 == n1;             // Types incompatibles
14
15 test = n1.intValue() == i1;     // true
16 test = n1 == new Integer(i1);   // false
17
18 // Convertir le premier paramètre de la ligne de commande.
19 if (args.length > 0) {
20     Integer n5 = Integer.decode(args[0]);
21     int i5 = Integer.parseInt(args[0]);
22     // Attention à NumberFormatException !
23 }
```

Exemple d'utilisation de la classe Integer (Java 1.5)

```
1  Integer n1 = new Integer(15);           // construire depuis un int
2  Integer n2 = new Integer("100");        // construire depuis String
3
4
5  int i1 = n1;            // en fait : i1 = n1.intValue()
6  double d2 = n2.doubleValue();   // d2 == 100.0
7
8  int i3 = Integer.parseInt("421");       // i3 == 421
9  Integer n4 = Integer.decode("0xFFF");   // n4 == 4095
10
11 boolean test;
12 test = n1 == i1;        // true
13 test = i1 == n1;        // true
14
15 test = n1.intValue() == i1;     // true
16 test = n1 == new Integer(i1);   // false
17
18 // Convertir le premier paramètre de la ligne de commande.
19 if (args.length > 0) {
20     Integer n5 = Integer.decode(args[0]);
21     int i5 = Integer.parseInt(args[0]);
22     // Attention à NumberFormatException !
23 }
```

Les énumérations

Depuis Java 1.5, il est possible de définir des types énumérés.

```
1  public enum Fruit { POMME, POIRE, ORANGE, PRUNE };
```

```
1  public enum Couleur { JAUNE, VIOLET, ORANGE };
```

```
1  class ExempleEnum {
2      static Couleur getCouleur(Fruit f) {
3          Couleur resultat = null;
4          switch (f) {
5              case POMME: resultat = Couleur.JAUNE; break;
6              case ORANGE: resultat = Couleur.ORANGE; break;
7              case PRUNE: resultat = Couleur.VIOLET; break;
8          }
9          return resultat;
10     }
11     public static void main(String[] args) {
12         for (Fruit f : Fruit.values()) {
13             System.out.println(f + " est " + getCouleur(f));
14         }
15     }
16 }
```

Les énumérations : propriétés

– Une énumération est une classe.
  Chaque « valeur » est équivalente à un attribut de classe constant.
– Le même nom (`ORANGE`) peut être utilisé dans deux énumérations (espaces de noms différents).
– On peut utiliser un **`switch`** avec une expression de type énumération.

Intérêt :

– Évite d'avoir à définir des constantes entières.
– Contrôle de type fort (à la compilation !).
– Les constantes ne sont pas compilées dans le code client.
– On peut obtenir (`name()`) et afficher le nom d'une valeur.

```
POMME est JAUNE
POIRE est null
```

```
ORANGE est ORANGE
PRUNE est VIOLET
```

– On peut ajouter des méthodes et des attributs dans une classe énumérée.

Relations entre classes

On dit qu'il y a **relation de dépendance** entre une classe A et une classe B si la classe A fait référence à la classe B dans son texte.

Cette relation peut être **momentanée** si B apparaît comme
- un paramètre d'une méthode ;
- une variable locale.

Cette relation est **structurelle** si elle dure, c'est généralement le cas quand B est un attribut. En UML, on fait apparaître une relation entre les classes.

Durer = durée de vie supérieure au temps d'exécution d'une méthode.

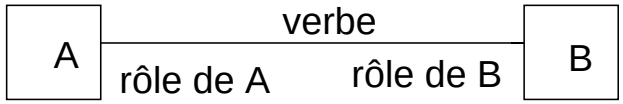
En Java, cette relation correspond, par défaut, à un partage d'objets sauf si le programmeur réalise explicitement des copies.

En UML elle peut être précisée : **association**, **agrégation** ou **composition**.

Relation entre classes

Une application est composée de plusieurs classes dont le couplage est caractérisé par des relations (d'utilisation) :

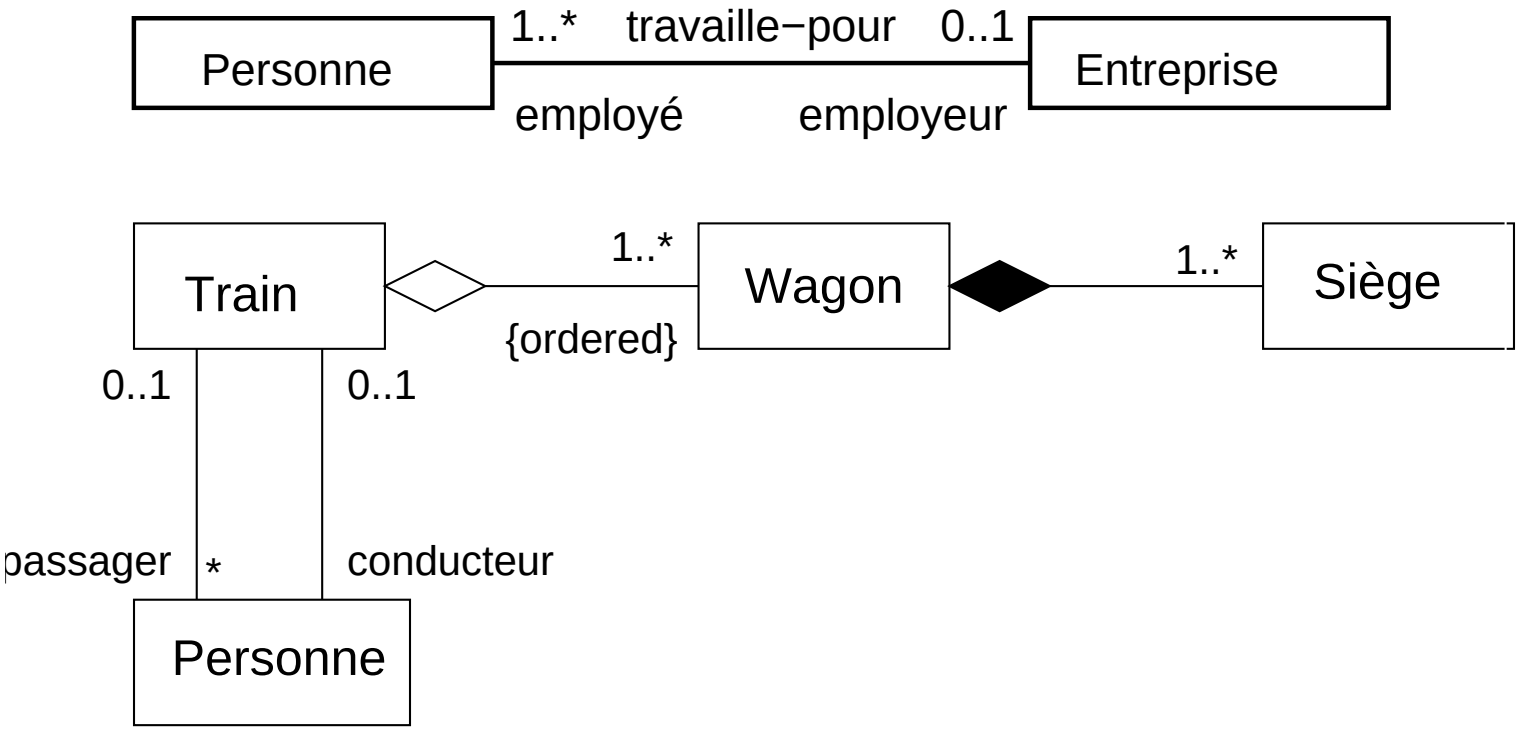
– **association :** couplage faible correspondant à une relation symétrique entre objets relativement indépendants (durées de vie non liées) ;



– **agrégation :** association non symétrique avec couplage plus fort, relation de subordination. C'est une relation de type tout-partie ;

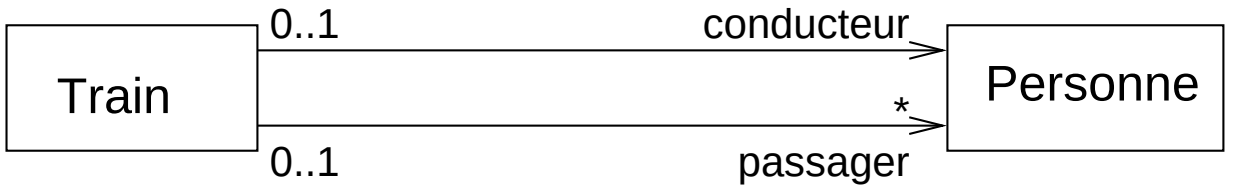
– **composition :** agrégation forte (par valeur). La durée de vie des objets « partie » est liée à celle du « tout ». Pas de partage possible.

Relations entre classes : exemples



Exercice 17 Dessiner un diagramme de classes faisant apparaître un site web, des pages HTML et un « webmaster ».

Traduction en Java




```
public class Train {
    private Personne conducteur;
        // Pour une multiplicité de 1 ou 0..1 (null ?)

    private Personne[] passagers;
        // Au lieu d'un tableau, il est préférable
        // d'utiliser une structure de données adaptée.

    ...
}
```

– La flèche indique le sens de navigation de la relation : d'un objet train on peut obtenir le conducteur ou les passagers mais pas l'inverse.
– Agrégation et association se représentent de la même façon en Java.
– Pour la composition, plusieurs stratégies sont possibles (voir TD).

Interfaces

Exercice 18 : Liste de réels

On considère une liste de réels (`double`) offrant les opérations suivantes :

– connaître la taille de la liste (son nombre d'éléments) ;
– obtenir l'élément à la position i de la liste ;
– remplacer le i^e élément de la liste ;
– ajouter un élément dans la liste en position i ;
– supprimer l'élément à la position i de la liste.

On doit avoir 0 <= indice < taille sauf pour ajouter car ajouter à taille signifie ajouter en fin. **On ne traitera pas les cas d'erreur.**

18.1 Dessiner le diagramme UML de la classe Liste.

18.2 Écrire une méthode dans une classe `OutilsListe` qui calcule la somme des réels d'une liste.

18.3 On hésite entre stocker les éléments de la liste dans un tableau ou les chaîner. Ceci remet-il en cause le travail fait ?

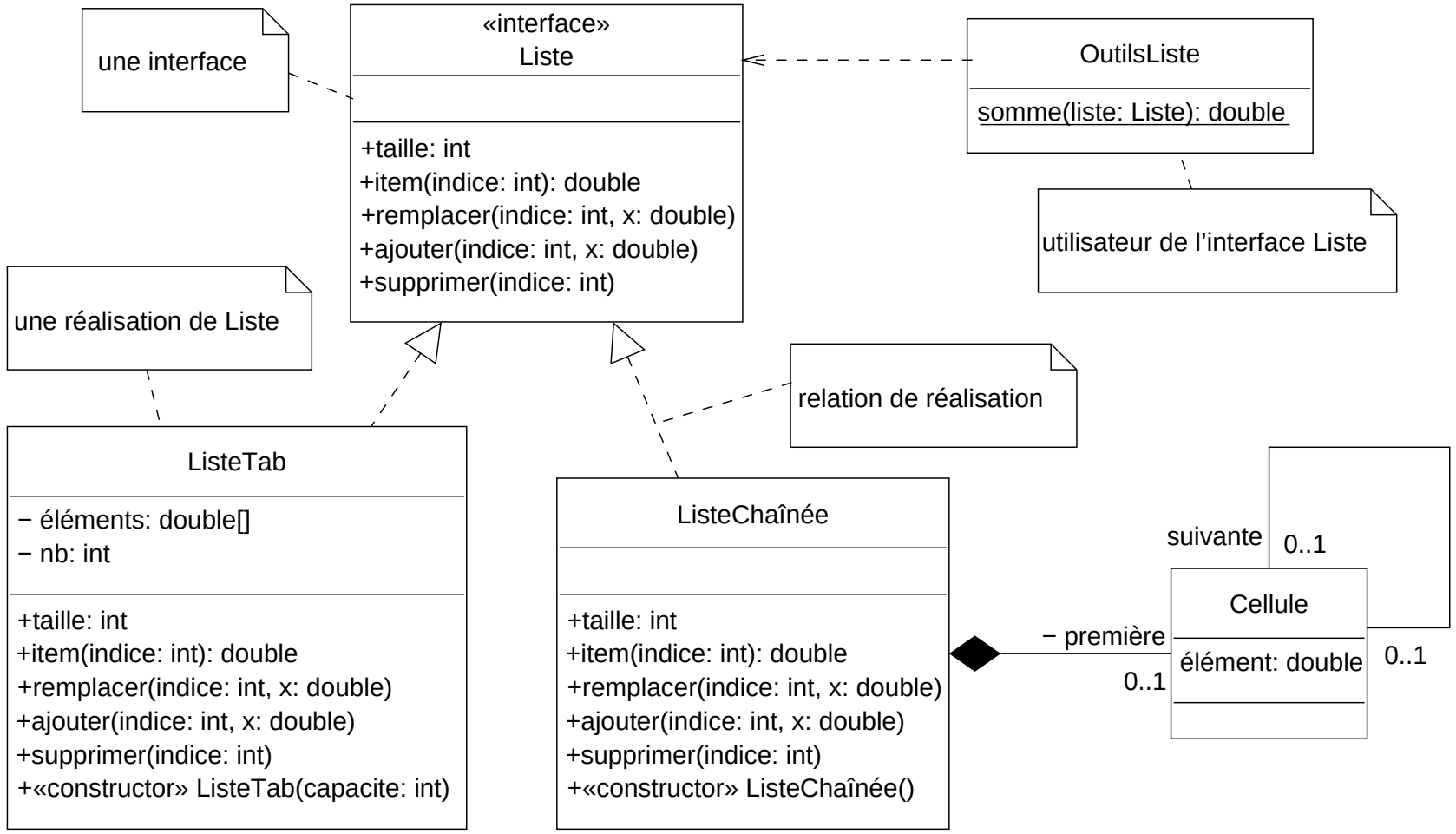
Constatations

– On sait ce qu'est une liste :
  – on peut donner la signature de chaque méthode ;
  – on peut en donner la spécification (commentaire javadoc) ;
  $\Longrightarrow$ On peut donc utiliser une liste.
– **mais** on ne sait pas :
  – où sont stockés les éléments ;
  – ni, donc, écrire le code (implantation) des méthodes ;
  $\Longrightarrow$ **On ne peut pas écrire une classe.**

Solution : Écrire une **interface** `Liste` (spécifier le comportement).

Remarque : Un jour, il faudra coder les méthodes de la liste et donc faire un choix de réprésentation. On pourra ainsi avoir plusieurs réalisations :
– les éléments sont stockés dans un tableau : `ListeTab` ;
– les éléments sont chaînés entre eux : `ListeChaînée`.
$\Longrightarrow$ `ListeTab` et `ListeChaînée` sont des **réalisations** de l'interface `Liste`.

Notation UML



L'interface `Liste` en Java

```
1  /** Spécification d'une liste.  @version Revision : 1.7 */
2  public interface Liste {
3      /** Obtenir la taille de la liste.
4       * @return nombre d'éléments dans la liste */
5      int taille();
6
7      /** Obtenir un élément de la liste.
8       * @param indice position de l'élément */
9      double item(int indice);
10
11     /** Remplacer un élément de la liste.
12      * @param indice indice de l'élément à remplacer
13      * @param x nouvelle valeur */
14     void remplacer(int indice, double x);
15
16     /** Ajouter un élément dans la liste.
17      * @param indice indice où doit se trouver le nouvel élément
18      * @param x élément à insérer */
19     void ajouter(int indice, double x);
20
21     /** Supprimer un élément de la liste.
22      * @param indice indice de l'élément à supprimer */
23     void supprimer(int indice);
24 }
```

Qu'est ce qu'une interface ?

Définition : Une interface est le point de jonction entre des classes utilisant l'interface et des classes la réalisant.

Exemple : L'interface `Liste` est le point de jonction entre `OutilsListe` (en fait, `OutilsListe.somme`) et `ListeTab` ou `ListeChaînée`.

Essentiel : Une interface définit un comportement qui doit être respecté par ses réalisations et sur lequel peuvent s'appuyer ses utilisateurs.

Conséquence : La documentation est essentielle ! La signature des méthodes ne suffit pas : utilisateurs et implémenteurs ne doivent pas pouvoir avoir des interprétations incompatibles (ou contradictoires).

Intérêt : Une interface définit un contrat entre utilisateurs et réalisateurs :
- les implémenteurs doivent le respecter ;
- les utilisateurs savent comment utiliser une interface.

Quelques contraintes sur les interfaces

Une *interface* ressemble à une classe **mais** :

– Tous les éléments d'une interface doivent nécessairement (et ont implicitement) un droit d'accès **`public`**.
  Justification : Quel intérêt de spécifier quelque chose d'inaccessible ?
– Une interface ne peut pas contenir de code : seule la signature et la spécification des méthodes sont données. Jamais le code !
  Justification : Une interface est une spécification et ne doit donc pas :
  – (trop) contraindre les choix de ses implémenteurs ;
  – surcharger les utilisateurs de détails inutiles.
– Une interface ne peut pas contenir d'attributs (sauf constants, **`final`**).
– Il n'est pas possible de spécifier de constructeur.
  Justification : Intérêt d'un constructeur sans son implantation ?

Instances d'une interface ?

Constatation : Une interface décrit seulement un comportement, une abstraction (elle contient la spécification et non le code).

$\Longrightarrow$ Une interface décrit une *notion abstraite*.

Conséquence : Impossible de créer une instance à partir d'une interface.

Justification : Quel sens aurait une telle instance ?

```
1  /** Une interface ne peut pas être instanciée !  */
2  public class TestListeInstanceErreur {
3      public static void main(String[] args) {
4          Liste uneListe = new Liste();
5          uneListe.ajouter(0, 3.14);      // Quelle signification ?
6      }
7  }
```

```
TestListeInstanceErreur.java:4: Liste is abstract; cannot be instantiated
        Liste uneListe = new Liste();
                         ^
```

Conséquence : Définir des classes qui réalisent l'interface et qui pourront, *elles*, avoir des instances (`ListeTab` et `ListeChaînée`).

Réalisation d'une interface

Définition : On appelle *réalisation d'une* interface une classe qui s'engage à définir les méthodes spécifiées dans cette interface.

Notation : En Java, on utilise le mot-clé **`implements`** pour dire qu'une classe *réalise* une interface :

```
class ListeTab implements Liste {
    ...
}
```

Remarque : Une même classe peut réaliser un nombre quelconque d'interfaces.

```
class A implements I1, I2, I3 {
    ...
}
```

Attention : Si une classe ne définit pas toutes les méthodes des interfaces qu'elle réalise, elle est dite *abstraite* (voir T. 225). Incomplète, elle ne permet pas de créer des instances (comme une interface).

Exemple de réalisation

```
1  /** Réalisation de la Liste en stockant les éléments dans un tableau. */
2  public class ListeTab implements Liste {
3      private double[] elements;  // les éléments de la liste
4      private int nb;             // la taille de la liste
5      /** Construire une liste vide.
6       * @param capacite capacité initiale de la liste
7       */
8      public ListeTab(int capacite) {
9          this.elements =  new double[capacite];
10         this.nb = 0;            // la liste est initialement vide
11     }
12
13     public int taille() {
14         return this.nb;
15     }
16
17     public double item(int index) {
18         return this.elements[index];
19     }
20
21     public void remplacer(int index, double x) {
22         this.elements[index] = x;
23     }
```

```
24
25      public void supprimer(int index) {
26          System.arraycopy(this.elements, index+1,
27                  this.elements, index, this.nb-index-1);
28          this.nb--;
29      }
30
31      public void ajouter(int index, double x) {
32          if (this.nb >= this.elements.length) {  // tableau trop petit !
33              // agrandir le tableau : pourrait être plus efficace !
34              double[] nouveau = new double[this.nb+3];  // 3 arbitraire
35              System.arraycopy(this.elements, 0, nouveau, 0, this.nb);
36              this.elements = nouveau;
37          }
38          // décaler les éléments à partir de index
39          System.arraycopy(this.elements, index,
40                  this.elements, index+1, this.nb-index);
41          // ranger le nouvel élément
42          this.elements[index] = x;
43          this.nb++;
44      }
45  }
```

Exemple de programme utilisant les listes

```
1  /** Programme utilisant les listes ListeTab et ListeChainee. */
2  public class TestListes {
3      public static void main(String[] args) {
4          ListeTab l1 = new ListeTab(5);
5          ListeChainee l2 = new ListeChainee();
6          l1.ajouter(0, 3.14);            // quel ajouter ?
7          l2.ajouter(0, 3.14);            // quel ajouter ?
8          double v1 = l1.item(0);
9          double v2 = l2.item(0);
10     }
11 }
```

Remarque : Quel `ajouter` ? Voir T. 86.

Enrichissement d'une réalisation

Il est possible d'ajouter de nouvelles méthodes dans une réalisation (en plus de celles de l'interface).

```
public class ListeTab implements Liste {
    ....

    public double premier()     { return this.elements[0]; }
    public double dernier()     { return this.elements[this.nb - 1]; }
    public void trier()         { ... }
}
```

Les méthodes `premier`, `dernier` et `trier` sont disponibles dans `ListeTab` mais pas dans `Liste` ni `ListeChaînée`.

Remarque : Ces méthodes pourraient être définies sur `ListeChaînée` mais avec un coût non constant pour `dernier` et `trier`.

Interfaces et poignées

Question : On ne peut pas créer d'instances d'une interface... Quel intérêt alors ?

Réponse : Une interface permet de déclarer des poignées.

Propriété : Une interface définit un type (par exemple, le type `Liste`).

Intérêt : Écrire des méthodes (et classes) qui s'appuient sur des interfaces sans en connaître les réalisations actuelles... ni futures !

```
1  /** Quelques méthodes utiles sur les listes.  */
2  public class OutilsListe {
3      /* Calculer la somme des réels d'une liste.
4       * @param l la liste dont on veut sommer les valeurs
5       * @return la somme des valeurs de l */
6      static public double somme(Liste l) {
7          double resultat = 0;
8          for (int i = 0; i < l.taille(); i++) {
9              resultat += l.item(i);
10         }
11         return resultat;
12     }
13 }
```

Question : Mais que peut bien désigner le paramètre `l` de type `Liste` ?

Sous-type et principe de substitution

Sous-type : Si une classe C réalise une interface I alors le type C est un sous-type du type I.

Substitution : Si un type T1 est un sous-type de T2 alors partout où T2 est déclaré, on peut utiliser un objet de type T1.

Conséquence : Une poignée de type interface peut être initialisée avec tout objet instance d'une classe réalisant cette interface.

```
1  Liste l1 = new ListeTab(5);     // principe de substitution
2  Liste l2 = new ListeChainee();  // principe de substitution
3  ListeTab lt1 = new ListeTab(10);
4  double s = OutilsListe.somme(lt1);  // principe de substitution
5  // ListeTab lt = l2;    // Interdit : mauvais sens !
6  // ListeTab lt = l1;    // Interdit : mauvais sens (voir T. 219) !
```

Remarque : Tout comme en français, « liste » est un terme général, abstrait qui désigne soit une liste avec tableau, soit une liste chaînée.

Sous-type, principe de substitution et appel de méthode

Pour chaque ligne du code suivant, indiquer si le compilateur l'accepte et ce qui se passe à l'exécution.

```
1  Liste l1 = new ListeTab(5);     // principe de substitution
2  Liste l2 = new ListeChainee();  // principe de substitution
3  ListeTab lt1 = new ListeTab(10);
4
5  ListeTab lt = l1;               // ???
6  ListeTab lt = l2;               // ???
7  ListeTab lt = lt1;              // ???
8  ListeChainee lc = l1;           // ???
9  ListeChainee lc = l2;           // ???
10
11 l1.dernier();                   // ???
12 l2.dernier();                   // ???
13 lt1.dernier();                  // ???
14 lt.dernier()                    // ???
```

Liaison tardive (ou dynamique)

```
Liste l;                // Déclaration de la poignée l de type liste
l = new ListeTab(9);    // Créer une ListeTab et l'attacher à l
l.ajouter(0, 3.14);     // Appel de la méthode ajouter(int, double) sur l
```

Type apparent : Type de (déclaration de) la poignée (`Liste`).

Type réel : Classe de l'objet attaché à la poignée (`ListeTab`).

Rappel : La classe d'un objet **ne peut pas changer** ! Mais, cet objet peut être attaché à des poignées de types différents.

Principe : Quand une méthode est appliquée sur une poignée :

1. le compilateur vérifie que la méthode est déclarée dans le type apparent de la poignée (sinon erreur de compilation) ;
2. la méthode effectivement exécutée est celle qui est définie sur le type réel de l'objet attaché à la poignée. C'est la *liaison tardive (aussi T. 217)*.

Exercice 19 Si I est une interface qui spécifie la méthode m() et p une poignée non nulle déclarée de type I, est-on sûr que p.m() a un sens ?

Affectation renversée

```
Liste l;                // Déclaration de la poignée l de type liste
l = new ListeTab(9);    // Créer une ListeTab et l'attacher à l
l.ajouter(0, 3.14);     // Appel de la méthode ajouter(int, double) sur l
ListeTab lt;
lt  = l;       // Interdit par le compilateur mais nécessaire pour...
lt.trier();    // Trier la liste (opération non disponible sur Liste)
```

`lt = l` est refusée car `Liste` n'est pas sous-type de `ListeTab` (même si l'objet associé à `l` est bien du type `ListeTab`) : c'est l'**affectation renversée**.

Solution : Dire au compilateur de considérer un objet d'un nouveau type

```
lt = (ListeTab) l;      // à utiliser avec modération !!!
```

Attention : Le transtypage ressemble au `cast` de C. Cependant, cette « conversion » est vérifiée à l'exécution (`ClassCastException`).

Interrogation dynamique de type : opérateur **`instanceof`**

```
if (l instanceof ListeTab) {
  ((ListeTab) l).trier();
}
```

```
if (l instanceof ListeTab) {
  ListeTab lt = (ListeTab) l;
  lt.trier();
}
```

Les interfaces : Bilan

Intérêts d'une interface :

– Définir un contrat entre l'utilisateur et le fournisseur d'un service (interface) ;
– Possibilité de changer le fournisseur sans changer l'utilisateur ;
– Possibilité d'avoir plusieurs réalisations d'une même interface.

$\Longrightarrow$ **Couplage faible** entre utilisateur et fournisseur :

– l'utilisateur exprime son besoin, l'interface,
– et il utilise une réalisation qu'il ne connaît pas forcément.

Conseils : Utiliser le type le plus général qui possède toutes les opérations nécessaires quand on déclare le type d'un attribut ou d'un paramètre de méthode.

Exemple : `Liste l` et non `ListeTab l` si on n'utilise pas `trier`, `premier`, `dernier`.

Retour sur `ListeTab`

Exercice 20 : Questions sur ListeTab

Concernant la classe `ListeTab` (T. 161), répondre aux questions suivantes.

20.1 Pourquoi certaines méthodes n'ont pas de commentaires de documentation ?

20.2 Dans la méthode `ajouter`, agrandir le tableau est-il nécessaire ?

20.3 Que se passe-t-il quand la machine virtuelle ne trouve pas assez de mémoire pour agrandir le tableau ?

20.4 Pourrait-on ne pas agrandir le tableau ? Comment faire alors ?

Liste et al. dans la bibliothèque Java

L'interface `Liste` et les classes `ListeTab` et `ListeChaînée` existent dans la bibliothèque Java. Elles s'appellent respectivement :

– `java.util.List` (interface) ;
– `java.util.ArrayList` (classe réalisant `List`) ;
– `java.util.LinkedList` (classe réalisant `List`) ;

Remarque : Il existe également :

– une classe historique `java.util.Vector` proche de `java.util.ArrayList` ;
– et bien d'autres structures de données (voir T. 334).

Responsabilité d'une classe

.

Exercice 21 Le comportement de la liste est décrit informellement dans les commentaires de documentation. Expliquer comment décrire plus formellement ce comportement.

Solutions pour formaliser un comportement

Formaliser le comportement, c'est définir les responsabilités des classes/interfaces (voir T. 262).

Essentiellement, deux techniques sont possibles :

– la programmation par contrat (T. 300) ;
– l'utilisation des exceptions (T. 268).

Remarque : Les contrats définis sur une interface (ici `Liste`) s'appliquent à toutes ses réalisations (ici `ListeTab`, `ListeChaînée`...).

Programmation par contrat sur l'interface `Liste`

But : Spécifier *formellement* le comportement des listes. Voir T. 300.

```
1  /** Spécification d'une liste.  @version Revision : 1.7 */
2  public interface Liste {
3      //@ public invariant taille() >= 0;
4
5      /** Obtenir la taille de la liste.
6       * @return nombre d'éléments dans la liste */
7      /*@ pure @*/ int taille();
8
9      /** Obtenir un élément de la liste.
10      * @param indice position de l'élément */
11     //@ requires 0 <= indice && indice < taille();
12     /*@ pure @*/ double item(int indice);
13
14     /** Remplacer un élément de la liste.
15      * @param indice indice de l'élément à remplacer
16      * @param x nouvelle valeur */
17     //@ requires 0 <= indice && indice < taille(); // indice valide
18     //@ ensures item(indice) == x;                // élément remplacé
19     //@ ensures taille() == \old(taille());       // pas d'ajout !
20     void remplacer(int indice, double x);
```

```
21
22      /** Ajouter un élément dans la liste.
23       * @param indice indice où doit se trouver le nouvel élément
24       * @param x élément à insérer */
25      //@ requires 0 <= indice && indice <= taille(); // indice valide
26      //@ ensures item(indice) == x;                 // élément ajouté
27      //@ ensures taille() == \old(taille()) + 1; // un élément de plus
28      void ajouter(int indice, double x);
29
30      /** Supprimer un élément de la liste.
31       * @param indice indice de l'élément à supprimer */
32      //@ requires 0 <= indice && indice <= taille(); // indice valide
33      //@ ensures taille() == \old(taille()) - 1; // un élément de moins
34      void supprimer(int indice);
35  }
```

Ces contrats ne sont pas complets mais sont suffisants pour détecter :

– les mauvaises utilisations (préconditions complètes)

– la plupart des erreurs de programmation *classiques* dans les réalisations

Programmation par contrat sur l'interface `Liste` (version complète)

```
1  /** Spécification d'une liste.  @version $Revision : 1.7 $ */
2  public interface Liste {
3      //@ public invariant taille() >= 0;
4
5      /** Obtenir la taille de la liste.
6       * @return nombre d'éléments dans la liste */
7      /*@ pure @*/ int taille();
8
9      /** Obtenir un élément de la liste.
10      * @param indice position de l'élément */
11     //@ requires 0 <= indice && indice < taille();
12     /*@ pure @*/ double item(int indice);
13
14     /** Remplacer un élément de la liste.
15      * @param indice indice de l'élément à remplacer
16      * @param x nouvelle valeur */
17     //@ requires 0 <= indice && indice < taille(); // indice valide
18     //@ ensures item(indice) == x;                // élément remplacé
19     //@ ensures (\forall int i;         // autres éléments inchangés
20     //@                 0 <= i && i < taille();
21     //@                 i == indice || item(i) == \old(item(i)));
22     //@ ensures taille() == \old(taille());      // pas d'ajout !
23     void remplacer(int indice, double x);
24
```

```
25      /** Ajouter un élément dans la liste.
26       * @param indice indice où doit se trouver le nouvel élément
27       * @param x élément à insérer */
28      //@ requires 0 <= indice && indice <= taille(); // indice valide
29      //@ ensures item(indice) == x;               // élément ajouté
30      //@ ensures (\forall int i; // éléments avant indice inchangés
31      //@                 i >= 0 && i < indice;
32      //@                 item(i) == \old(item(i)));
33      //@ ensures (\forall int i; // éléments après indice décalés
34      //@                 i > indice && i < taille();
35      //@                 item(i) == \old(item(i-1)));
36      //@ ensures taille() == \old(taille()) + 1; // un élément de plus
37      void ajouter(int indice, double x);
38
39      /** Supprimer un élément de la liste.
40       * @param indice indice de l'élément à supprimer */
41      //@ requires 0 <= indice && indice <= taille(); // indice valide
42      //@ ensures taille() == \old(taille()) - 1; // un élément de moins
43      //@ ensures (\forall int i; // éléments avant indice inchangés
44      //@                 i >= 0 && i < indice;
45      //@                 item(i) == \old(item(i)));
46      //@ ensures (\forall int i; // éléments après indice décalés
47      //@                 i >= indice && i < taille();
48      //@                 item(i) == \old(item(i+1)));
49      void supprimer(int indice);
50  }
```

Généricité

Exercice 22 : Généraliser les listes

Dans l'exercice 18 nous avons défini la notion de liste de réels avec une interface (`Liste`) et deux réalisations (`ListeTab` et `ListeChaînée`).

Expliquer comment faire pour avoir des listes d'éléments de types différents comme par exemple une liste de fractions, une liste de personnes, une liste de listes de livres, etc.

Solutions

Principe : On constate que seul le type des éléments de la liste change. Les algorithmes (donc le code des méthodes) restent identiques.

Solution 1 (mauvaise) : Faire du copier/coller. Il faut :

– Renommer tous les fichiers (`Liste.java`, `ListeTab.java`...) en prenant un nouveau nom (`ListeDouble`, `ListeTabDouble`, `ListeFraction`... par exemple).
– Remplacer le type double par le nouveau type.

Inconvénients : Même si ces transformations peuvent être automatisées elles sont fastidieuses !

Solution 2 (mauvaise) : Celle utilisée avant java 1.5. Voir T. 241.

Solution 3 (la bonne) : Utiliser la généricité (à partir de java 1.5 !)

Version générique de l'interface Liste

```
1  /** Spécification d'une liste.  @version Revision : 1.7 */
2  public interface Liste<T> {
3      /** Obtenir la taille de la liste.
4       * @return nombre d'éléments dans la liste */
5      int taille();
6
7      /** Obtenir un élément de la liste.
8       * @param indice position de l'élément */
9      T item(int indice);
10
11     /** Remplacer un élément de la liste.
12      * @param indice indice de l'élément à remplacer
13      * @param x nouvelle valeur */
14     void remplacer(int indice, T x);
15
16     /** Ajouter un élément dans la liste.
17      * @param indice indice où doit se trouver le nouvel élément
18      * @param x élément à insérer */
19     void ajouter(int indice, T x);
20
21     /** Supprimer un élément de la liste.
22      * @param indice indice de l'élément à supprimer */
23     void supprimer(int indice);
24 }
```

Le programme de test

```
1  /** Programme utilisant les listes ListeTab et ListeChainee. */
2  public class TestListes {
3      public static void main(String[] args) {
4          ListeTab<Double> l1 = new ListeTab<Double>(5);
5          ListeChainee<Double> l2 = new ListeChainee<Double>();
6          Liste<String> ls = new ListeTab<String>(3);
7          ListeTab<Liste<Double>> ll = new ListeTab<Liste<Double>>(2);
8          l1.ajouter(0, 3.14);            // quel ajouter ?
9          l2.ajouter(0, 3.14);            // quel ajouter ?
10         ls.ajouter(0, "PI");
11         ll.ajouter(0, l1);
12         ll.ajouter(1, l2);
13         double v1 = l1.item(0);
14         double v2 = ll.item(1).item(0);
15         String vs = ls.item(0);
16     }
17 }
```

Remarque : Le type des éléments des listes est précisé entre `< >`.

Remarque : On utilise `Double` et non **`double`** car il faut impérativement un objet. L'auto *boxing/unboxing* rend ceci transparent.

Explications

Une classe générique est une classe paramétrée par un (ou plusieurs) types.

```
public interface Liste<T> { ... }
public class Couple<A, B> { ... }
```

Vocabulaire : T, A et B sont dits *variables de type*, *paramètres de type formels* ou *paramètres de généricité*.

Pour obtenir une « classe » (appelée *type paramétré*), il faut préciser les paramètres de généricité (les valeurs des variables de type). On dit « instancier le paramètre ».

```
Liste<Double>, Liste<Personne>...
Couple<String, Livre>...
```

Attention : La valeur du paramètre de généricité ne peut pas être un type primitif

$\Longrightarrow$ Il faut utiliser les classes enveloppes !

```java
/** Définition d'un couple. */
public class Couple<A, B> {
    public A premier;
    public B second;

    public Couple(A premier_, B second_) {
        this.premier = premier_;
        this.second = second_;
    }
}
```

```java
import java.awt.Color;
public class TesterCoupleErreur {
   public static void main(String[] args) {
      Couple<String, Integer> p1 = new Couple<String, Integer>("I", 1);
      Couple<Integer, String> p2 = new Couple<Integer, String>(2, "II");
      p1.premier = p2.second;
      p1.second = p2.premier;

      Couple<Color, String> p3 =
          new Couple<Color, String> (Color.RED, "rouge");
      p3.premier = "VERT";
      p3.second = Color.GREEN;
   }
}
```

Résultat de la compilation de TesterCoupleErreur

```
1  TesterCoupleErreur.java:11: incompatible types
2  found   : java.lang.String
3  required: java.awt.Color
4        p3.premier = "VERT";
5                     ^
6  TesterCoupleErreur.java:12: incompatible types
7  found   : java.awt.Color
8  required: java.lang.String
9        p3.second = Color.GREEN;
10                         ^
11 2 errors
```

$\Longrightarrow$ Le compilateur détecte effectivement les erreurs de type.

```java
/** Définition d'un élément simplement chaînable sur un type T. */
public class Cellule<T> {
    private T element;
    private Cellule<T> suivante;

    public Cellule(T element_, Cellule<T> suivante_) {
        this.element = element_;
        this.suivante = suivante_;
    }

    public Cellule<T> getSuivante() {
        return this.suivante;
    }

    public T getElement() {
        return this.element;
    }

    public void setElement(T nouveau) {
        this.element = nouveau;
    }

    public void setSuivante(Cellule<T> s) {
        this.suivante = s;
    }
}
```

```java
/** Réalisation de la Liste en chaînant les éléments. */
public class ListeChainee<T> implements Liste<T> {
    private Cellule<T> premiere;    // première cellule de la liste
    private int nb = 0; // nb de cellules dans la liste

    public int taille() {
        return this.nb;
    }

    /** Obtenir une cellule de la liste chaînée.
      * @param index position de la cellule (0 pour la première)
      * @return cellule à la position index */
    private Cellule<T> cellule(int index) {
        Cellule<T> curseur = this.premiere;
        for (int i = 0; i < index; i++) {
            curseur = curseur.getSuivante();
        }
        return curseur;
    }

    public T item(int index) {
        return this.cellule(index).getElement();
    }

    public void remplacer(int index, T x) {
```

```
26          this.cellule(index).setElement(x);
27      }
28
29      public void ajouter(int index, T x) {
30          if (index == 0) {       // insertion en tête
31              this.premiere = new Cellule<T>(x, this.premiere);
32          } else {        // insertion après une cellule
33              Cellule<T> precedente = cellule(index-1);
34              Cellule<T> nouvelle = new Cellule<T>(x,
35                      precedente.getSuivante());
36              precedente.setSuivante(nouvelle);
37          }
38          this.nb++;      // une cellule ajoutée
39      }
40
41      public void supprimer(int index) {
42          if (index == 0) {       // insertion en tête
43              this.premiere = this.premiere.getSuivante();
44          } else {        // insertion après une cellule
45              Cellule<T> precedente = cellule(index-1);
46              precedente.setSuivante(precedente.getSuivante().getSuivante());
47          }
48          this.nb--;      // une cellule supprimée
49      }
50  }
```

Exercice 23 Écrire une méthode qui échange deux éléments d'un tableau à des indices donnés.

Elle doit par exemple pouvoir être utilisée pour échanger deux éléments d'un tableau de chaînes de caractères, d'un tableau de points, etc.

Méthodes génériques

```
 1  public class GenericiteSwap {
 2      /** Permuter deux éléments d'un tableau.
 3       * @param tab le tableau
 4       * @param i indice du premier élément
 5       * @param j indice du deuxième élément */
 6      public static <T> void swap(T[] tab, int i, int j) {
 7          T tmp = tab[i];
 8          tab[i] = tab[j];
 9          tab[j] = tmp;
10      }
11      public static void main(String[] args) {
12          String[] ts = { "I", "II", "III", "IV", "V" };
13          swap(ts, 0, 1);
14          assert ts[0].equals("II");
15          assert ts[1].equals("I");
16
17          Integer[] ti = { 1, 2, 3, 4, 5 };       // et pas int !!!
18          swap(ti, 0, 1);
19          assert ti[0] == 2;
20          assert ti[1] == 1;
21          GenericiteSwap.<Integer>swap(ti, 0, 1); // forme complète !
22      }
23  }
```

Exercice 24 Écrire une méthode qui permet d'obtenir le plus grand élément d'un tableau. Cette méthode doit fonctionner quelque soit le type des éléments du tableau.

Généricité contrainte : méthode `max`

```
 1  public class GenericiteMax {
 2      /** Déterminer le plus grand élément d'un tableau.
 3       * @param tab le tableau des éléments
 4       * @return le plus grand élément de tab */
 5      public static <T extends Comparable<T>> T max(T[] tab) {
 6          T resultat = null;
 7          for (T x : tab) {
 8              if (resultat == null || resultat.compareTo(x) < 0) {
 9                  resultat = x;
10              }
11          }
12          return resultat;
13      }
14
15      /** Programme de test de GenericiteMax.max */
16      public static void main(String[] args) {
17          Integer[] ti = { 1, 2, 3, 5, 4 };
18          assert max(ti) == 5;
19
20          String[] ts = { "I", "II", "IV", "V" } ;
21          assert max(ts).equals("V");
22      }
23  }
```

Généricité contrainte : Explications

– Pour pouvoir déterminer le max, il faut comparer les éléments du tableau. Aussi, nous imposons qu'ils soient comparables (`java.lang.Comparable`) :

```
1  public interface Comparable<T> {
2      /** Compares this object with the specified object for order.
3        * Returns a negative integer, zero, or a positive integer
4        * as this object is less than, equal to, or greater than
5        * the specified object... */
6      int compareTo(T o);
7  }
```

– Dans le code de la méthode `max`, on peut donc utiliser `compareTo` sur les éléments du tableau.

– `Integer` réalise l'interface `Comparable<Integer>` et `String` réalise `Comparable<String>`. On peut calculer le max des tableaux `ti` et `ts`.

– Autre exemple : `Dictionnaire<Clé extends Hashable, Donnée>;`

Remarque : Contraintes multiples : `C<T extends I1 & I2>`

Relation d'héritage

Exemple introductif

Exercice 25 : Définition d'un point nommé

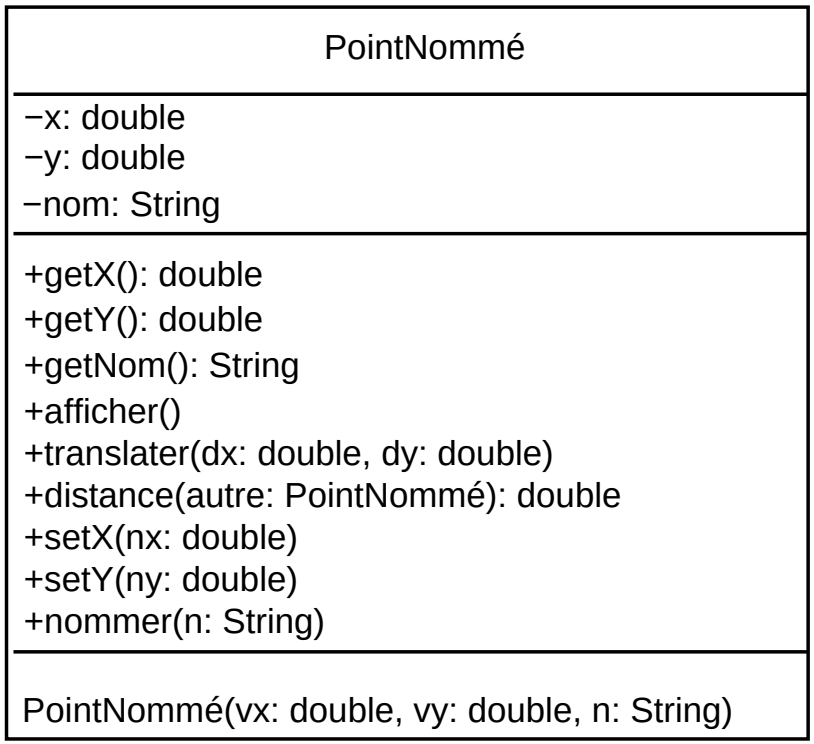
Un point nommé est un point, caractérisé par une abscisse et une ordonnée, qui possède également un nom. Un point nommé peut être translaté en précisant un déplacement par rapport à l'axe des X (abscisses) et un déplacement suivant l'axe des Y (ordonnées). On peut obtenir sa distance par rapport à un autre point. Il est possible de modifier son abscisse, son ordonnée ou son nom. Enfin, ses caractéristiques peuvent être affichées.

25.1 Modéliser en UML cette notion de point nommé.

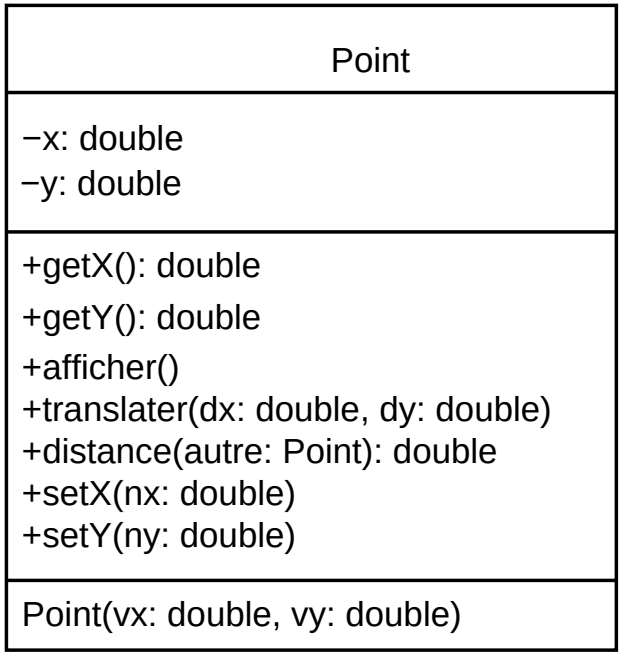
25.2 Une classe Point a déjà été écrite. Que constatez-vous quand vous comparer le point nommé et la classe Point des transparents suivants ?

25.3 Comment écrire la classe PointNommé ?

Modélisation de la classe PointNommé



La classe Point



La classe Point

```
1  // !!! Commentaires de documentation volontairement omis !!!
2  public class Point {
3      private double x;           // abscisse
4      private double y;           // ordonnée
5
6      public Point(double vx, double vy) { this.x = vx; this.y = vy; }
7
8      public double getX()               { return this.x; }
9      public double getY()               { return this.y; }
10     public void setX(double vx)        { this.x = vx; }
11     public void setY(double vy)        { this.y = vy; }
12
13     public void afficher() {
14         System.out.print("(" + this.x + "," + this.y + ")");
15     }
16     public double distance(Point autre) {
17         double dx2  = Math.pow(autre.x - this.x, 2;
18         double dy2  = Math.pow(autre.y - this.y, 2;
19         return Math.sqrt(dx2 + dy2);
20     }
21     public void translater(double dx, double dy) {
22         this.x += dx;
23         this.y += dy;
24     }
25 }
```

Solution 1 : Copier les fichiers

Il suffit (!) de suivre les étapes suivantes :

1. Copier Point.java dans PointNommé.java

   ```
   cp Point.java PointNommé.java
   ```

2. Remplacer toutes les occurrences de Point par PointNommé.
   Par exemple sous vi, on peut faire :

   ```
   :%s/\<Point\>/PointNommé/g
   ```

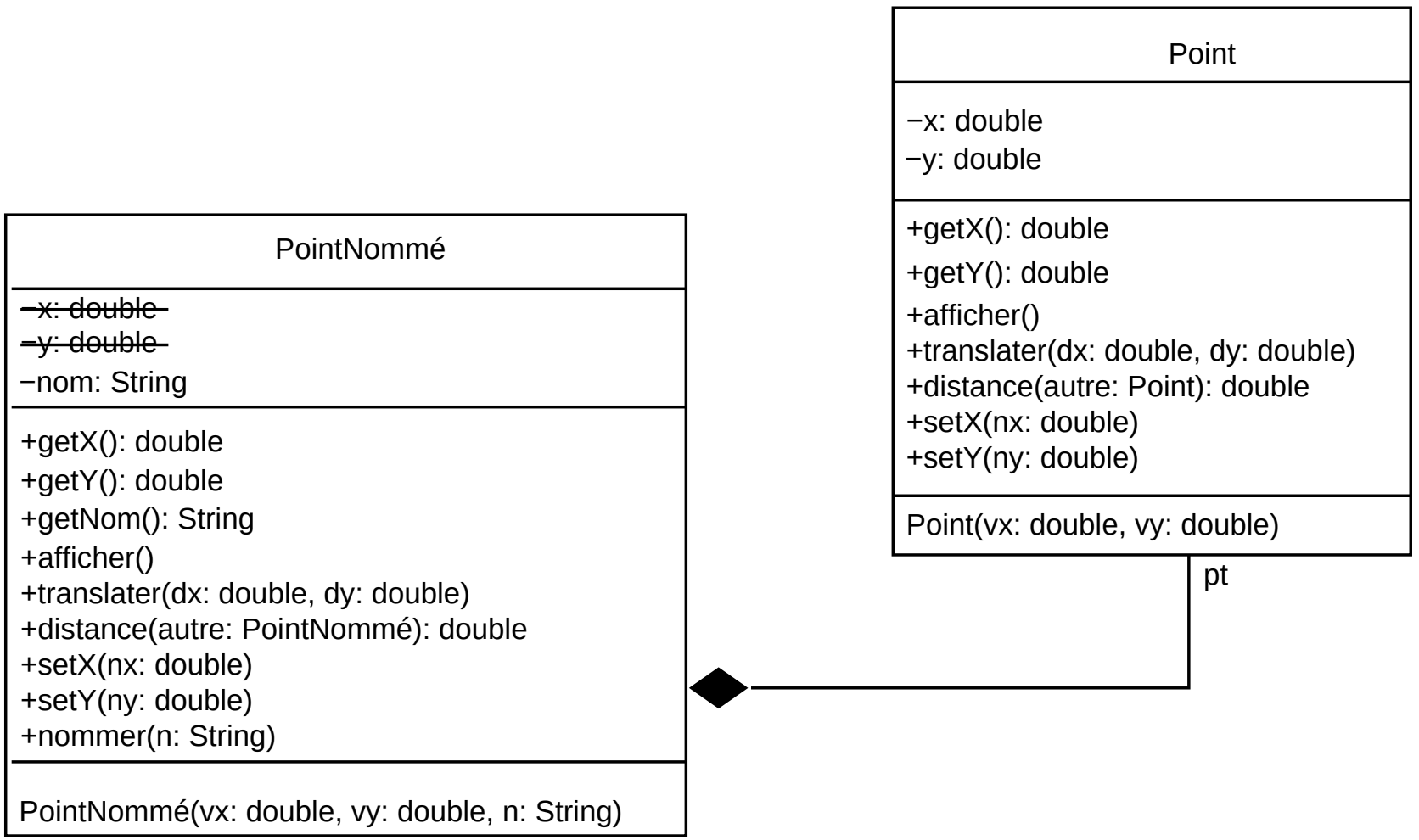
3. Ajouter les attributs et méthodes qui manquent (`nom` et `nommer`)

4. Adapter le constructeur

Beaucoup de problèmes :

– Que faire si on se rend compte que le calcul de la distance est faux ?
– Comment ajouter une coordonnée z ?
– Peut-on calculer la distance entre un point et un point nommé ?

Solution 2 : Utiliser le point (composition)



Le code Java correspondant

```
1  // !!! Commentaires de documentation volontairement omis !!!
2  public class PointNomme {
3      private Point pt;
4      private String nom;
5
6      public PointNomme(double vx, double vy, String nom) {
7          this.pt = new Point(vx, vy);
8          this.nom = nom;
9      }
10
11     public double getX()        { return this.pt.getX(); }
12     public double getY()        { return this.pt.getY(); }
13     public String getNom()      { return this.nom; }
14
15     public void translater(double dx, double dy) {
16         this.pt.translater(dx, dy);
17     }
18
19     public void afficher()      { this.pt.afficher(); }
20
21     public double distance(PointNomme autre) {
22         return this.pt.distance(autre.pt);
23     }
24     ...
25 }
```

Discussion sur la solution 2 (utilisation)

Le code de la classe Point est **réutilisé** dans PointNommé

$\Longrightarrow$ Pas de code dupliqué !

Il faut **définir toutes les méthodes** dans PointNommé :

– les nouvelles méthodes sont codées dans PointNommé (`getNom`, `nommer`)
– celles présentes dans point sont appliquées sur l'attribut `pt`
– il serait possible de les adapter (par exemple pour afficher)

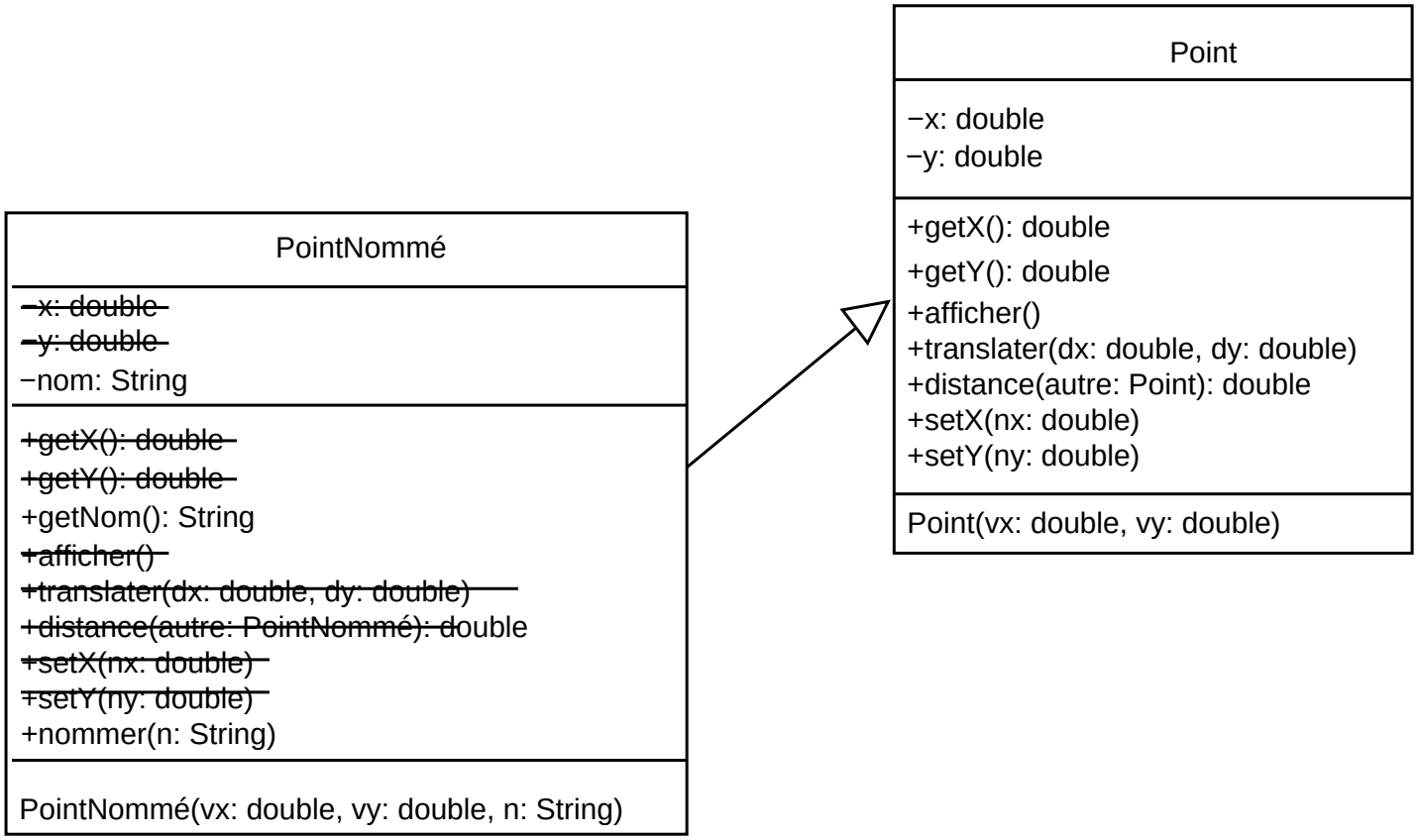
Toujours impossible de calculer la distance entre Point et PointNommé.

Remarque : le recours à la surcharge ne serait pas une bonne solution !

Remarque : On constate qu'un point nommé est un point particulier.

Un point nommé **est** un point **avec en plus** un nom.

Solution 3 : L'héritage



En Java, hériter c'est :

1. **définir un sous-type** : PointNommé est un sous-type de Point
2. récupérer dans PointNommé (sous-classe) les éléments de Point (super-classe)

Héritage et concepts associés

Les points importants sont :

- Héritage : relation de spécialisation/généralisation
- Principe de substitution (induit par l'héritage)
- Adaptations de l'héritage : enrichissement
- Héritage et constructeurs
- Redéfinition et liaison dynamique ;
- Interrogation dynamique de type (affectation renversée) ;
- Classes abstraites ;
- Interfaces ;
- Qu'est ce qu'un bon héritage ?
- Héritage vs utilisation.

Héritage

Buts : plusieurs objectifs (non liés) :

- définir une nouvelle classe :
  - comme **spécialisation** d'une classe existante ;
  - comme **généralisation** de classes existantes (factorisation des propriétés et comportements communs) ;
- définir une **relation de sous-typage** entre classes (substitutionalité) ;
- copier virtuellement les caractéristiques de classes existantes dans la définition d'une nouvelle classe (héritage).

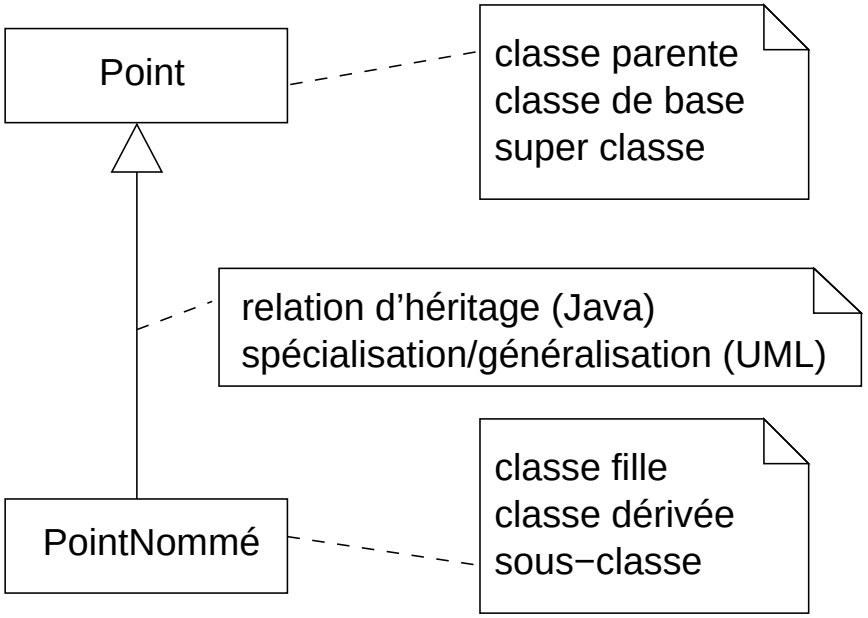
Moyen : La relation d'héritage en Java (appelée relation de généralisation/spécialisation en UML).

Exemples :

- PointNommé est une spécialisation de Point (un point avec un nom).
- Point est une généralisation de PointNommé, PointPondéré, PointColoré...

Notation et vocabulaire

Notation UML



Notation en Java

```
public class PointNommé
    extends Point                    // relation d'héritage
{ ... }
```

Vocabulaire : On parle également d'ancêtres et de descendants (transitivité de la relation d'héritage)

Exemple d'héritage : la classe PointNommé (incomplète)

```
/** Un point nommé est un point avec un nom.  Ce nom peut être changé. */
public class PointNomme
    extends Point       // héritage (spécialisation d'un point)
{
  private String nom;

  /** Initialiser à partir de son nom et de ses coordonnées cartésiennes */
  public PointNomme(String sonNom, double vx, double vy) {
      super(vx, vy);  // appel au constructeur de Point (1ère instruction)
      nom = sonNom;
  }
  /** Le nom du point nommé */
  public String getNom() {
      return nom;
  }
  /** changer le nom du point */
  public void nommer(String nouveauNom) {
      nom = nouveauNom;
  }
}
```

Remarque : L'héritage évite de faire du copier/coller (toujours dangereux).

Attention : Ne pas confondre **`extends`** et **`import`** !

Enrichissement

Dans la sous-classe, on peut ajouter :

– de nouveaux attributs (conseil : prendre de nouveaux noms !) ;

```
private String nom;
```

– de nouvelles méthodes.

```
public String getNom() { ... }
public void nommer(String nouveauNom) { ... }
```

Remarque : Ajouter une nouvelle méthode s'entend au sens de la *surcharge*. Par exemple, sur le PointNommé on peut ajouter :

```
public void afficher(String préfixe) {
    System.out.println(préfixe);        // afficher le préfixe
    afficher();         // utiliser le afficher << classique >>
}
```

qui surcharge la méthode `afficher()` de Point.

Héritage et constructeurs

Principe : Tout constructeur d'une sous-classe doit appeler un des constructeurs de la super-classe.

Justification : Hériter d'une classe, c'est récupérer ses caractéristiques qui doivent donc être initialisées. Dans un `PointNommé`, il y a un `Point`... et un nom.

En pratique : On utilise **`super`** suivi des paramètres effectifs permettant au compilateur de sélectionner le constructeur de la classe parente.

```
public PointNomme(String sonNom, double vx, double vy) {
   super(vx, vy); // appel au constructeur de Point (1ère instruction)
   nom = sonNom;
}
```

- L'appel à **`super`** doit être la première instruction du constructeur !
- La classe parente est **toujours initialisée avant** la sous-classe.
- Si aucun appel à **`super`** n'est fait, le compilateur appelle automatiquement le constructeur par défaut de la classe parente **`super()`**.
  $\Longrightarrow$ D'où le danger de définir un constructeur par défaut !

Utilisation de la classe PointNommé

Exemple d'utilisation la classe PointNommé :

```
1  PointNomme pn = new PointNommé("A", 1, 2,);
2          // créer un point "A" de coordonnées (1,2)
3  pn.afficher();          // (1,2)  méthode de Point
4  pn.translater(-1, 2);   //        méthode de Point
5  pn.afficher();          // (0,4)  méthode de Point
6  pn.nommer("B");         // méthode de PointNomme
7  String n = pn.getNom(); // méthode de PointNomme
8  pn.afficher("Le point est");    // méthode de PointNomme (surcharge)
9          //  Le point est (0, 4)
```

Remarque : La classe PointNommé a bien **hérité** de toutes les caractéristiques de Point.

Exercice 26 Lister toutes les caractéristiques de la classe PointNommé. Préciser les droits d'accès.

Remarque : `afficher()` ne donne pas le nom du PointNommé.

Héritage et droits d'accès

Il faut distinguer l'accessibilité pour (les méthodes de) la sous-classe elle-même et l'accessibilité pour les classes utilisant la sous-classe :

– Une méthode de la sous-classe a accès aux caractéristiques de la super-classe déclarées `public`, `protected` ou à visibilité de paquetage. Les primitives `private` sont inaccessibles.

– Les caractéristiques héritées conservent leur droit d'accès.

  Remarque : La sous-classe peut augmenter le droit d'accès des méthodes héritées (une méthode `protected` peut devenir `public`). Il suffit de la redéfinir avec le nouveau droit d'accès.

  Attention : Elle ne peut pas le diminuer (contrainte du sous-typage).

  Remarque : Les caractéristiques qui étaient privées ne sont pas accessibles par les sous-classes. Leur accessibilité ne peut pas être augmentée !

Redéfinition de méthode

La sous-classe peut donner une nouvelle **version** (nouveau corps) à une méthode définie dans la super-classe (**adaptation** du comportement).

Exemple : Dans la classe PointNommé, on peut (on doit !) redéfinir « afficher » pour que le nom du point apparaisse également.

```
/** Afficher le point nommé sous la forme nom:(point) */
public void afficher() {
    System.out.print(getNom() + ":");
    super.afficher();   // utilisation du afficher de Point
}
```

Remarque : Dans le code de la méthode de la sous-classe, on peut faire référence aux méthodes de la classe parente par l'intermédiaire de **`super`**.

```
pn.afficher();          // A:(0,4)  méthode de PointNommé !
```

Attention : La méthode de la sur-classe n'est pas masquée mais reçoit une nouvelle implantation (les deux correspondent au même envoi de message).

Attention : La redéfinition n'est pas de la surcharge !

L'annotation `@Override`

Principe : `@Override` exprime que l'on redéfinit une méthode de la superclasse.

Intérêt : Le compilateur vérifie qu'il s'agit bien d'une redéfinition.

```
 1  class A {
 2      void uneMethodeAvecUnLongNom(int a) {}
 3  }
 4  class B1 extends A {
 5      @Override
 6      void uneMethodeAvecUnLongNom(Integer a) {}
 7  }
 8  class B2 extends A {
 9      @Override
10      void uneMethodeAvecUnLongNon(int a) {}
11  }
12  class B3 extends A {
13      @Override
14      void uneMethodeAvecUnLongNom(int a) {}
15  }
```

Question : Quels problèmes sont signalés par le compilateur ?

```
1  UtilisationOverride.java:5: method does not override or implement a
       method from a supertype
2      @Override
3      ^
4  UtilisationOverride.java:9: method does not override or implement a
       method from a supertype
5      @Override
6      ^
7  2 errors
```

Conseil : Toujours utiliser l'annotation `@Override` quand vous (re)définissez une méthode de manière à rendre votre intention explicite pour le compilateur et les lecteurs !

Attention : Les annotations ont été introduites en Java 5.

Principe de substitution

Principe : L'instance d'un descendant peut être utilisée partout où un ancêtre est déclaré.

Justification intuitive : Tout ce qui peut être demandé à la super-classe peut aussi l'être à la sous-classe.

Attention : L'inverse est faux. L'instance d'un ancêtre ne peut pas être utilisée où un descendant est déclaré.

```
1  Point p1 = new Point(3, 4);
2  PointNomme pn1 = new PointNomme("A", 30, 40);
3  Point q;        // poignée sur un Point
4  q = p1;  q.afficher();  // ?????
5  q = pn1; q.afficher();  // ?????
6
7  PointNomme qn;  // poignée sur un PointNommé
8  qn = p1;  qn.afficher(); // ?????
9  qn = pn1; qn.afficher(); // ?????
```

Remarque : Le principe de substitution est vérifié à la compilation.

Résolution d'un appel polymorphe

```
T p;              // Déclaration de la poignée (type apparent : T)
p = new X(...); // Affectation de la poignée (type réel : X)
...
p.m(a1, ..., an);       // Appel de la méthode m() sur p
```

1. **Résolution de la surcharge** (vérification statique).

   But : Identification de la signature de la méthode à exécuter.

   La classe du type apparent de la poignée (classe T) doit avoir une méthode m(T_1, ..., T_n) dont les paramètres correspondent en nombre et en type aux paramètres effectifs a_1, ..., a_n.

   Si pas de signature trouvée **Alors** *erreur de compilation* !

   Remarque : Le principe de substitution est utilisé sur les paramètres !

2. **Liaison dynamique** (à l'exécution, généralement).

   Le système choisit la **version** de m(T_1, ..., T_n) à exécuter : c'est la dernière (re)définition rencontrée partant du type T et descendant vers le type réel de l'objet attaché à la poignée `p` (X).

Illustration de la liaison tardive

```
1  Point p1 = new Point(3, 4);                        //      type    type
2  PointNomme pn1 = new PointNomme("A", 30, 40);      //    apparent  réel
3  Point q;        // poignée sur un Point                    Point   null
4  q = p1;  q.afficher();  // (3,4)                                   Point
5  q = pn1; q.afficher();  // A:(30,40)                               PN
6
7  PointNomme qn;  // poignée sur un Point                    PN      null
8  qn = p1;  qn.afficher(); // INTERDIT !                              Point
9  qn = pn1; qn.afficher(); // A:(30,40)                              PN
10
11 qn = q; // Possible ? (Le type réel de q est PointNommé)
12 qn.afficher()   // ????
```

Remarque : Le principe est identique à celui vu avec les interfaces (T. 168) !

Interrogation dynamique de type

```
Point p = new PointNomme("A", 1, 2);
PointNomme q;
q = p;  // Interdit par le compilateur
```

Le compilateur interdit cette affectation car il s'appuie sur les types apparents.

Or, un PointNommé est attaché à p. L'affectation aurait donc un sens.

C'est le pb de l'**affectation renversée** résolu en Java par le « transtypage » :

```
q = (PointNomme) p;     // Autorisé par le compilateur
```

Attention : Le transtypage ressemble au `cast` de C. Cependant cette conversion est vérifiée à l'exécution (exception ClassCastException).

Interrogation dynamique de type : opérateur **`instanceof`**

```
if (p instanceof PointNomme) {
  ((PointNomme) p).nommer("B");
}
```

```
if (p instanceof PointNomme) {
  PointNomme q = (PointNomme) p;
  q.nommer("B");
}
```

Liaison tardive : intérêt

Intérêt : Éviter des structures de type « choix multiples » :

– Les alternatives sont traitées par le compilateur (sûreté : pas d'oubli).

– L'ajout d'une nouvelle alternative est facilité (extensibilité).

En l'absence de liaison tardive, il faudrait tester explicitement le type de l'objet associé à une poignée pour choisir quelle méthode lui appliquer :

```
Point q = ...; // Afficher les caractéristiques de q
if (q instanceof PointNomme)            // tester le type réel
    // afficher q comme un PointNomme
else if (q instanceof PointColoré )     // tester le type réel
    // afficher q comme un PointColoré
    ...
else            // Ce n'est donc qu'un point !
    // afficher q comme un Point
```

Remarque : Permet de réaliser le **principe du choix unique** (B. Meyer) : « Chaque fois qu'un système logiciel doit prendre en compte un ensemble d'alternatives, un et un seul module du système doit en connaître la liste exhaustive ».

Le modifieur `final`

Définition : Le modifieur `final` donne le sens d'immuable, de non modifiable.

Il est utilisé pour :

- une *variable locale* : c'est une constante (qui doit donc nécessairement être initialisée lors de sa déclaration) ;
- un *attribut d'instance ou de classe* (qui doit être nécessairement initialisé par une valeur par défaut) ;
- une *méthode* : la méthode ne peut pas être redéfinie par une sous-classe. Elle n'est donc pas polymorphe ;
- une *classe* : la classe ne peut pas être spécialisée. Elle n'aura donc aucun descendant (aucune de ses méthodes n'est donc polymorphe).

Attributs, héritage et liaison dynamique

```
1  public class AttributsEtHeritage {
2      public static void main(String[] args) {
3          A a = new A();
4          B b = new B();
5          A c = new B();
6          System.out.println("a.attr1 = "       + a.attr1);
7          System.out.println("b.attr1 = "       + b.attr1);
8          System.out.println("a.attr2 = "       + a.attr2);
9          System.out.println("b.attr2 = "       + b.attr2);
10         System.out.println("c.attr2 = "       + c.attr2);
11         System.out.println("((A) b).attr2 = " + ((A) b).attr2);
12         System.out.println("((B) c).attr2 = " + ((B) c).attr2);
13     }
14 }
15
16 class A {
17     int attr1 = 1;
18     int attr2 = 2;
19 }
20
21 class B extends A {
22     int attr2 = 4;
23 }
```

Résultats de l'exécution

```
1  a.attr1 = 1
2  b.attr1 = 1
3  a.attr2 = 2
4  b.attr2 = 4
5  c.attr2 = 2
6  ((A) b).attr2 = 2
7  ((B) c).attr2 = 4
```

Règles :

– Il n'y a pas de redéfinition possible des attributs, seulement du masquage.

– L'attribut est sélectionné en fonction du type apparant de l'expression.

Conseil : Éviter de donner à un attribut un nom utilisé dans sa super-classe.

Remarque : Comme les attributs ne doivent pas être publics, généralement le problème ne se pose pas.

La classe Object

En Java, si une classe n'a pas de classe parente, elle hérite implicitement de la classe Object. C'est l'**ancêtre commun** à toutes les classes.

Elle contient en particulier les méthodes :

- `public boolean equals(Object obj);` Égalité logique de `this` et `obj`. Attention, l'implantation par défaut utilise == (égalité physique).
- `public String toString();` chaîne de caractères décrivant l'objet. Elle est utilisée dans print, println et l'opérateur de concaténation + par l'intermédiaire de String.valueOf(Object).
- `protected void finalize();` Méthode appelée lorsque le ramasse-miettes récupère la mémoire d'un objet.

  ...

Voir le transparent T. 379 pour d'autres caractéristiques de la classe Object.

Classe abstraite : exemple introductif

Exercice 27 Étant données les classes Point, PointNommé, Segment, Cercle... on souhaite formaliser la notion de schéma.

27.1 Comment peut-on modéliser cette notion de schéma en Java ?

27.2 Comment faire pour afficher ou translater un tel schéma ?

27.3 Comment faire si on veut ajouter un Polygone ?

27.4 Comment faire si on veut pouvoir agrandir (effet zoom) le schéma ?

Méthode retardée

Définition : Une méthode retardée (ou abstraite) est une méthode dont on ne sait pas écrire le code. Cette méthode est notée **`abstract`** (modifieur).

Exemple : Un objet géométrique peut être affiché et déplacé mais si on ne connaît pas le type d'objet, on ne sait pas écrire le code de ces méthodes

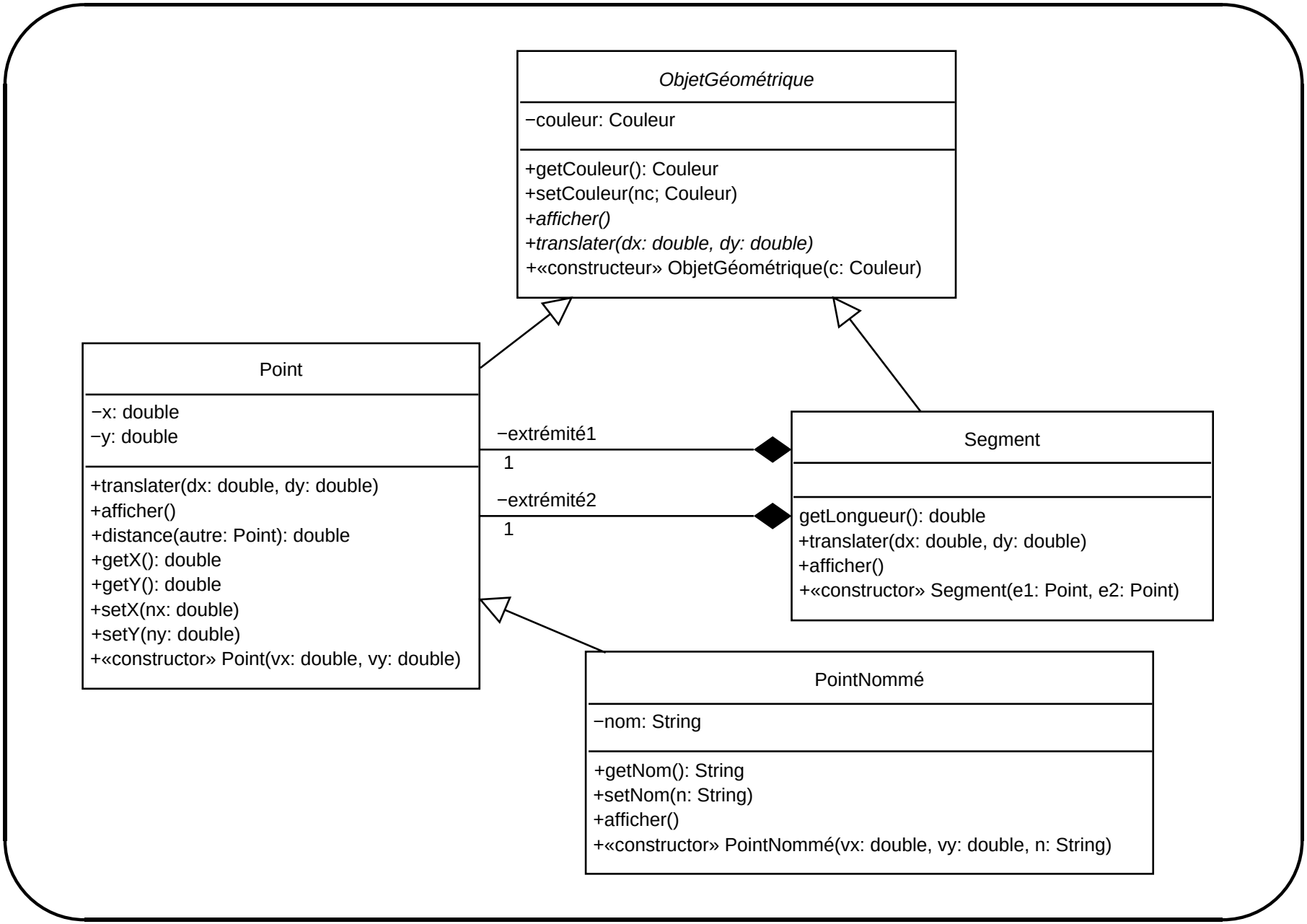
```
/** Afficher les caractéristiques de l'objet géométrique. */
abstract public void afficher();

/** Translater l'objet.
 *  @param dx déplacement suivant l'axe des X
 *  @param dy déplacement suivant l'axe des Y */
abstract public void translater(double dx, double dy);
```

Remarque : On ne met pas d'accolades après une méthode retardée !

Attention : **`abstract`** est incompatible avec **`final`** ou **`static`** : une méthode retardée est nécessairement une méthode d'instance polymorphe !

Classe abstraite : la classe ObjetGéométrique

```
1  /** Modélisation de la notion d'objet géométrique. */
2  abstract public class ObjetGéométrique {
3      private java.awt.Color couleur;     // couleur de l'objet
4
5      /** Construire un objet géométrique.
6       * @param c la couleur de l'objet géométrique */
7      public ObjetGéométrique(java.awt.Color c)   { this.couleur = c; }
8
9      /** Obtenir la couleur de cet objet.
10      *  @return la couleur de cet objet */
11     public java.awt.Color getCouleur()       { return this.couleur; }
12
13     /** Changer la couleur de cet objet.
14      *  @param c nouvelle couleur */
15     public void setCouleur(java.awt.Color c)    { this.couleur = c; }
16
17     /** Afficher sur le terminal les caractéristiques de l'objet.  */
18     abstract public void afficher();
19
20     /** Translater l'objet géométrique.
21      *  @param dx déplacement en X
22      *  @param dy déplacement en Y */
23     abstract public void translater(double dx, double dy);
24 }
```


ObjetGéométrique
−couleur: Couleur
+getCouleur(): Couleur
+setCouleur(nc; Couleur)
+afficher()
+translater(dx: double, dy: double)
+«constructeur» ObjetGéométrique(c: Couleur)
Point
−x: double
−y: double
+translater(dx: double, dy: double)
+afficher()
+distance(autre: Point): double
+getX(): double
+getY(): double
+setX(nx: double)
+setY(ny: double)
+«constructor» Point(vx: double, vy: double)
−extrémité1
1
−extrémité2
1
Segment
getLongueur(): double
+translater(dx: double, dy: double)
+afficher()
+«constructor» Segment(e1: Point, e2: Point)
PointNommé
−nom: String
+getNom(): String
+setNom(n: String)
+afficher()
+«constructor» PointNommé(vx: double, vy: double, n: String)

Commentaires sur la notation UML

– Essayer de placer les classes parentes au-dessus des sous-classes.
– Ne pas confondre la relation de généralisation/spécialisation avec une relation d'association avec sens de navigation !
– Le nom des classes abstraites et des méthodes retardées est noté en italique... Ce qui n'est pas toujours très visible !
  Remarque : On peut également utiliser la contrainte `{abstract}`.
– Dans une sous-classe UML, on ne fait apparaître que les méthodes qui sont définies ou redéfinies dans la sous-classe.
  Exemples : `Point` définit `afficher` et `translater` qui étaient spécifiées dans `ObjetGéométrique`.
  Dans `PointNommé` on ne fait apparaître ni `translater` ni `distance` car ce sont celles de `Point`. En revanche, `afficher` est redéfinie.
– La relation entre `Segment` et `Point` est une relation de composition.
  Comment la réaliser en Java ?

Classe abstraite

Définition : Une classe abstraite est une classe dont on ne peut pas créer d'instance (`abstract class`).

Remarque : Une classe qui possède une méthode retardée (propre ou héritée) est nécessairement une classe abstraite.

Conséquence : Une classe abstraite ne pouvant pas être instanciée, elle devra donc avoir des descendants qui définissent les méthodes retardées.

Remarque : Une classe peut être déclarée abstraite même si toutes ses méthodes sont définies.

Constructeurs : Une classe abstraite peut avoir des constructeurs et il est recommandé d'en définir (s'ils ont un sens).

Exercice 28 Quel est l'intérêt d'utiliser une méthode retardée plutôt que de définir une méthode avec un code vide (ou affichant un message d'erreur) qui serait redéfinie dans les sous-classes ?

Intérêt des classes abstraites

– **Factoriser** le comportement de plusieurs classes même si on n'est pas capable de le coder complètement. Ce comportement peut alors être utilisé.

  Exercice 29 Définir une classe Groupe (d'objets géométriques). Groupe est-elle abstraite ? Peut-on mettre un Groupe dans un Groupe ?

– **Classifier** les objets, par exemple les objets géométriques généraux, fermés, ouverts, etc.

– Permettre au compilateur de **vérifier** que la définition des méthodes retardées héritées est bien donnée dans les sous-classes.

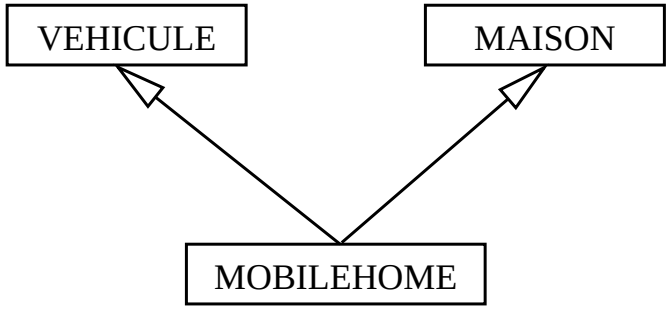
Remarque : Une sous-classe d'une classe abstraite peut être concrète ou abstraite suivant qu'elle donne ou non une définition à toutes ses méthodes (propres et héritées).

Exercice 30 Définir un menu textuel.

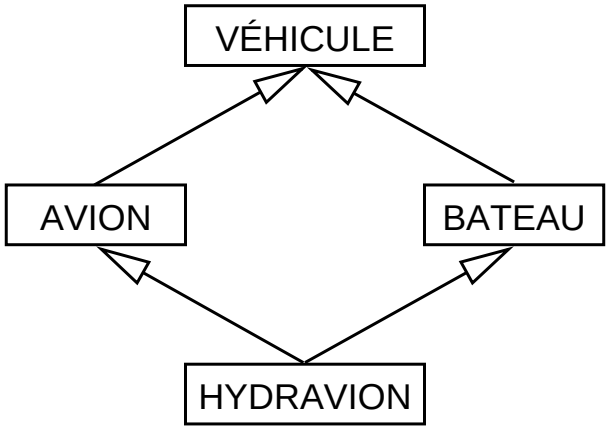
Héritage multiple

Définition : On dit qu'il a héritage multiple si une classe hérite d'au moins deux classes (parentes).

Exemple : Un mobilehome et un hydravion.



héritage multiple



héritage répété

Problèmes posés : Que deviennent les attributs et méthodes présents dans les deux classes parentes ? Représentent-ils la même notion (fusion) ou des notions différentes (duplication).

Solution proposée par Java : Interdire l'héritage multiple et introduire la notion d'interface.

Exercice 31

31.1 Comment faire pour écrire une méthode de tri d'un tableau qui soit générale ?

31.2 Comment faire pour écrire une méthode permettant de dessiner sur un écran graphique tous les éléments d'un tableau ?

31.3 Comment faire pour qu'un objet, un point par exemple, puisse apparaître à la fois comme élément du premier tableau et du deuxième tableau ?

Interfaces et héritage

Héritage multiple : Une interface peut spécialiser plusieurs interfaces.

```
interface I extends I1, I2 { ...  }
```

Attention : Deux méthodes ayant même nom et même signature sont considérées comme la même méthode.

$\Longrightarrow$ C'est une résolution syntaxique du pb de l'héritage multiple :-(

```
public interface Affichable {
    /** Afficher avec un décalage de indentation espaces. */
    void afficher(int indentation);
}

public interface MultiAffichable {
    /* Afficher plusieurs fois. */
    void afficher(int nb);
}

public class PbHeritageInterface implements Affichable, MultiAffichable {
    public void afficher(int entier) { // Que signifie afficher ?
        System.out.println("Entier = " + entier);
    }
}
```

Interface vs Classe abstraite

Les classes abstraites ont pour avantage de pouvoir contenir un comportement partiellement défini (des attributs et le code de méthodes).

```
/** Comparer des objets avec une relation d'ordre total */
public abstract class OrdreTotal<T> {
    /** Strictement inférieur (lesser than) */
    public abstract boolean lt(T a);

    /** Supérieur ou égal (greater equal) */
    final public boolean ge(T a)        { return !this.lt(a); }

    /** Strictement supérieur (greater than) */
    final public boolean gt(T a)        { return a.lt(this); }

    /** Inférieur ou égal (lesser equal) */
    final public boolean le(T a)        { return !a.lt(this); }

    final public boolean equals(T a)
                            { return !this.lt(a) && !a.lt(this); }
}
```

Attention : La liaison tardive fait que $a < b \equiv b > a$ peut être faux.

Interface vs Classe abstraite (suite)

La classe OrdreTotal permet de définir, à partir d'une méthode de comparaison, les autres méthodes usuelles. Malheureusement, si une classe hérite de OrdreTotal, elle ne pourra pas hériter d'une autre classe.

Pour transformer la classe abstraite en interface, il faut supprimer le code de toutes les méthodes. Il est alors préférable de les supprimer directement.

On arrive ainsi à l'interface Comparable de l'API Java :

```
interface Comparable {
  /** Comparer cet objet avec l'objet spécifié.  Le résultat est négatif,
    * nul ou positif suivant que this est <, = ou > à l'objet spécifié */
  public int compareTo(Object o);
}
```

Attention : La documentation de `Comparable` recommande que `compareTo` soit cohérent avec `equals` mais ceci ne peut pas être forcé comme dans le cas de `OrdreTotal`.

Contraintes sur la (re)définition

Respect de la sémantique : La redéfinition d'une méthode doit préserver la sémantique de la version précédente : la nouvelle version doit fonctionner au moins dans les mêmes cas et faire au moins ce qui était fait (cf T. 315).

Preuve : Une méthode `f(B b, ...)` travaille sur une classe polymorphe B.

– Cette classe B contient au moins une méthode polymorphe g.
– L'auteur de f ne connaît que B (*a priori*). Il utilise donc la spécification de B pour savoir comment appeler g et ce qu'elle fait.
– En fait, la méthode f est appelée avec un objet de la classe A sous-classe de B (principe de substitution) et redéfinissant g.
– En raison de la liaison tardive, c'est donc la version de g de la sous-classe A qui est appelée.

Conclusion : la version de g dans A doit fonctionner dans les cas prévus dans la super-classe B et faire au moins ce qui était prévu dans B.

Test : Une sous-classe doit réussir les tests de ses classes parentes.

Constructeur et méthode polymorphe

Règle : Un constructeur ne devrait pas appeler de méthode polymorphe.

Preuve : Considérons une classe `A` dont l'un de ses constructeurs utilise une méthode polymorphe m.

- Puisque m est une méthode polymorphe, elle peut être redéfinie dans une classe `B` sous-classe de `A`.
- La redéfinition de m dans `B` peut utiliser un attribut de type objet `attr` ajouté dans `B` (donc non présent dans `A`).
- L'ordre d'initialisation des constructeurs fait que le constructeur de `A` est exécuté avant celui de `B`, donc `attr` est **`null`**. Or le constructeur de `A` exécute `m`, donc la version de `B` (liaison tardive) qui utilise `attr` non encore initialisé !

Réutilisation

La réutilisation se fait en Java au travers des classes.

Il s'agit de réutiliser des classes déjà écrites.

Il y a deux possibilités pour qu'une classe `A` « réutilise » une classe `B` :

– la *relation d'utilisation* (association, agrégation ou composition) :

```
class A {
    B b;        // poignée sur un objet de B
    ...
}
```

Exemple : La classe segment (ré)utilise la classe Point.

– la *relation* d'héritage (spécialisation) :

```
class A extends B {     // A spécialise B
    ...
}
```

Exemple : La classe PointNommé (ré)utilise la classe Point.

La question est alors : « Quoi choisir entre utilisation et héritage ? »

Choisir entre héritage et utilisation

Règles simples :

– « a » $\Longrightarrow$ association (ou agrégation)

– « est composé de » $\Longrightarrow$ composition (ou agrégation)

– « est un » $\Longrightarrow$ héritage

Attention : « est un ... et ... » (utilisation) $\neq$ « est un ... ou ... » (héritage)

Remarque : ÊTRE, c'est AVOIR un peu !

On peut *toujours* remplacer l'héritage par l'utilisation.
L'inverse est faux. AVOIR, ce n'est pas toujours ÊTRE !

Deux règles :

– si on veut utiliser le polymorphisme $\Longrightarrow$ héritage

– si on veut pouvoir changer dynamiquement le comportement des objets
$\Longrightarrow$ utilisation (poignée) associée à l'héritage

Exercice 32 Modéliser une équipe de football ?

Généricité vs Héritage

Exercice 33

33.1 Quelles sont les relations entre une collection de points, une liste de points et une liste chaînée de points ?

33.2 Quelles sont les relations entre une liste de points, une liste de personnes, une liste de livres, etc.

33.3 Définir une pile de points (de capacité fixe).

33.4 Comment adapter la pile de points pour avoir une pile de livres ou une pile de personnes ?

Généricité vs Héritage : schéma

Vocabulaire : La généricité s'appelle également *polymorphisme paramétrique* : transformer un type en paramètre.

Le polymorphisme de la programmation par objet s'appelle le *polymorphisme d'héritage* ou *sous-typage*.

Généricité vs Héritage : une pile fixe de points

```
/** Une pile de points
  * de capacité fixe. */
public class PileFixePoint {

  private Point[] éléments;
  private int nb;

  public PileFixePoint(int capacité) {
    éléments = new Point[capacité];
    nb = 0;
  }

  public boolean estVide() {
    return nb == 0;
  }

  public Point getSommet() {
    return éléments[nb-1];
  }

  public void empiler(Point elt) {
    éléments[nb++] = elt;
  }

  public void dépiler() {
    nb--;
    éléments[nb] = null;
  }
}
```

Attention : On ne fait aucun contrôle sur la validité des opérations (empiler, dépiler, sommet) : voir chapitre *Responsabilités d'une classe* (T. 262).

Généricité vs Héritage : utilisation de PileFixePoint

```
class TestPileFixePoint {
    public static void main (String args []) {
        PileFixePoint pile = new PileFixePoint(10);

        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            pile.empiler(new Point(i, i));
        }

        while (!pile.estVide()) {
            pile.getSommet().afficher();
            pile.dépiler();
        }
    }
}
```

– Quelles sont les vérifications que peut faire le compilateur ?
– Quelles sont les vérifications qui ne peuvent être réalisées qu'à l'exécution ?

Une pile fixe générale : polymorphisme d'héritage

```
/** Une pile de capacité fixe générale :
  * polymorphisme d'héritage */
public class PileFixeObject {

  private Object[] éléments;
  private int nb;

  public PileFixeObject(int capacité) {
    éléments = new Object[capacité];
    nb = 0;
  }

  public boolean estVide() {
    return nb == 0;
  }

  public Object getSommet() {
    return éléments[nb-1];
  }

  public void empiler(Object elt) {
    éléments[nb++] = elt;
  }

  public void dépiler() {
    nb--;
    éléments[nb] = null;
  }
}
```

Attention : On ne fait aucun contrôle sur la validité des opérations (empiler, dépiler, sommet) : voir chapitre *Responsabilités d'une classe* (T. 262).

Généricité vs Héritage : utilisation de PileFixeObject

```
class TestPileFixeObject {
    public static void main (String args []) {
        PileFixeObject pile = new PileFixeObject(10);

        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            pile.empiler(new Point(i, i));
        }

        while (!pile.estVide()) {
            ((Point)pile.getSommet()).afficher();
            pile.dépiler();
        }
    }
}
```

– Quelles sont les vérifications que peut faire le compilateur ?
– Quelles sont les vérifications qui ne peuvent être réalisées qu'à l'exécution ?

Une pile fixe générale : généricité

```
/** Une pile de capacité fixe :
 *  généricité */
public class PileFixe<G> {
    // G : paramètre générique

  private G[] éléments;
  private int nb;

  public PileFixe(int capacité) {
    éléments = new G[capacité];
    nb = 0;
  }

  public boolean estVide() {
    return nb == 0;
  }

  public G getSommet() {
    return éléments[nb-1];
  }

  public void empiler(G elt) {
    éléments[nb++] = elt;
  }

  public void dépiler() {
    nb--;
    éléments[nb] = null;
  }
}
```

Attention : On ne fait aucun contrôle sur la validité des opérations (empiler, dépiler, sommet) : voir chapitre *Responsabilités d'une classe* (T. 262).

Généricité vs Héritage : utilisation de PileFixe

```
class TestPileFixe {
    public static void main (String args []) {
        PileFixe<Point> pile = new PileFixe<Point>(10);
            // instanciation du paramètre générique

        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            pile.empiler(new Point(i, i));
        }

        while (!pile.estVide()) {
            pile.getSommet().afficher();
            pile.dépiler();
        }
    }
}
```

– Quelles sont les vérifications que peut faire le compilateur ?
– Quelles sont les vérifications qui ne peuvent être réalisées qu'à l'exécution ?

Généricité vs Héritage : conclusions

Utiliser l'héritage pour « simuler » la généricité, c'est masquer les types apparents par un type plus général (Object).

Ceci comporte plusieurs inconvénients :

– Le compilateur ne peut pas faire de contrôle (utile) de types. Il est possible de mettre n'importe quel type d'objet dans la pile !
– Le programmeur doit faire du transtypage quand il récupère les objets (contrôlé à l'exécution seulement, donc trop tard !).
– Les informations de type ne sont pas apparentes dans le source et doivent être remplacées par des commentaires : comment déclarer une pile de points ? Et une pile d'objets géométriques ?

Conclusion : L'héritage permet de simuler la généricité mais au détriment des contrôles qui peuvent être faits par le compilateur. Le programmeur doit être plus vigilent. Heureusement, Java 1.5 apporte la généricité !

Que faire si on ne dispose pas de la généricité ?

On peut allier polymorphisme d'héritage *et* contrôle de type en écrivant autant de classes « enveloppes » que d'instanciations possibles.

```
/** Une pile fixe de points
  * en utilisant PileFixeObject
  * mais avec contrôle de type. */
public class PileFixePoint {

  private PileFixeObject points;

  public PileFixePoint(int capa) {
    points =
      new PileFixeObject(capa);
  }

  public boolean estVide() {
    return points.estVide();
  }

  public Point getSommet() {
    return (Point) points.getSommet();
  }

  public void empiler(Point elt) {
    points.empiler(elt);
  }

  public void dépiler() {
    points.dépiler();
  }
}
```

Remarque : C'est ce qu'engendre *automatiquement* le compilateur de java 1.5 !

Conséquences

- D'un point du vue pratique, il n'existe qu'une seule classe, par exemple `Pile` et non `Pile<String>`, `Pile<Point>`... (différent de C++).
  Si `G` est une classe Générique et A et B deux types, `G<A>` et `G<B>` ont même classe `G`. L'information de généricité a disparu.
- Le compilateur engendre donc les transtypages nécessaires.
- Les informations de types sont uniquement connues du compilateur et non de la JVM. Dans le byte code, les informations de généricité ont disparu !
- On ne peut pas utiliser **`instanceof`** ni faire du transtypage avec un type générique.

```java
public class TestErreurTranstypage {
    public static void main(String[] args) {
        Paire<String, Integer> pp = new Paire<String, Integer>("I", 1);
        Paire po = pp;
        Object o = pp;

        Paire<Integer, String> p2 = null;
        p2 = po;                 // unchecked conversion
        p2 = (Paire) po;         // unchecked conversion
        p2 = (Paire<Integer, String>) po; // unchecked cast
        String str = p2.second;          // ClassCastException !

        p2 =  o;                 // incompatible types
        p2 = (Paire) o;          // unchecked conversion
        p2 = (Paire<Integer, String>) o; // unchecked cast

        Paire<Integer, String> ps = (Paire<Integer, String>) pp;
            // inconvertible types
            // Le compilateur connaît le type de pp et peut vérifier !

        assert po instanceof Paire<String, Integer>;
            // illegal generic type for instanceof
        assert po instanceof Paire;
    }
}
```

Généricité et sous-typage

Exercice 34 Y a-t-il une relation de sous-typage entre `ListeTab<Object>` et `ListeTab<String>` ? Dans quel sens ?

Généricité et sous-typage

```
 1  public class TestErreurGeneriticiteSousTypage {
 2      public static void main(String[] args) {
 3          ListeTab<String> ls = new ListeTab<String> (10);
 4          ListeTab<Object> lo = ls;
 5          lo.ajouter(0, "texte");
 6          lo.ajouter(0, 15.5);    // en fait new Double(15.5);
 7          String s = ls.item(0);
 8          System.out.println(s);
 9      }
10  }
```

```
TestErreurGeneriticiteSousTypage.java:4: incompatible types
found   : ListeTab<java.lang.String>
required: ListeTab<java.lang.Object>
        ListeTab<Object> lo = ls;
                              ^
Note: ./ListeTab.java uses unchecked or unsafe operations.
Note: Recompile with -Xlint:unchecked for details.
```

Remarque : Il y aurait une relation de sous-typage si ListeTab était immuable !

Exercice 35 On considère la méthode `afficher` et le programme de test ci-dessous.

```
/** Afficher tous les éléments de ll. */
static public  void afficher(Liste<Object> ll) {
    for (int i = 0; i < ll.taille(); i++) {
        System.out.println(ll.item(i));
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Liste<Object> lo = new ListeTab<Object> (5);
    lo.ajouter(0, "deux");
    lo.ajouter(0, "un");
    afficher(lo);

    Liste<String> ls = new ListeTab<String> (5);
    ls.ajouter(0, "deux");
    ls.ajouter(0, "un");
    afficher(ls);
}
```

35.1 Que donnent la compilation et l'exécution de ce programme ?

35.2 Proposer une nouvelle version de la méthode `afficher`.

Utilisation du type *joker*

– Erreur de compilation : `Liste<String>` n'est pas un sous-type de `Liste<Object>` ! Voir T. 253.

– Une solution consisterait à utiliser une méthode générique :

```
static public <T> void afficher(Liste<T> ll) {
    for (int i = 0; i < ll.taille(); i++) {
        System.out.println(ll.item(i));
    }
}
```

– Une meilleure solution consiste à utiliser un type *joker* (*wildcard*) : `<?>` :

```
static void afficher(Liste<?> ll) {
    for (int i = 0; i < ll.taille(); i++) {
        System.out.println(ll.item(i));
    }
}
```

`Liste<?>` est appelée « liste d'inconnus ». Le type n'est pas connu !

Cette solution est meilleure car T n'était jamais utilisé (ne servait à rien).

Rq : On peut utiliser des types joker contraints (`<? extends Type>`).

Limite des types joker

```
/** Copier les éléments de source dans la liste destination. */
public static void copier(Liste<?> destination, Object[] source) {
    for (Object o : source) {
        destination.ajouter(destination.taille(), o);
    }
}
```

– Le compilateur interdit d'ajouter un objet dans une liste d'inconnus !

– La solution consiste à prendre un paramètre de généricité :

```
public static <T> void copier(Liste<T> destination, T[] source) {
    for (T o : source) {
        destination.ajouter(destination.taille(), o);
    }
}
```

– Que donnent alors les instructions suivantes ?

```
String[] tab = { "un", "deux" };
copier(new ListeTab<Object> (2), tab);
```

Exercice 36 Écrire une méthode de classe qui copie une liste dans une autre.

Tableau et sous-typage

Exercice 37 Que donnent la compilation et l'exécution de ce programme ? Comment l'adapter pour fonctionner sur des listes ?

```
 1  public class TableauxSousTypage {
 2      public static void copier(Object[] destination, Object[] source) {
 3          assert destination.length >= source.length
 4                  : "Capacité␣insuffisante␣:␣" + destination.length
 5                  + "␣<␣" + source.length;
 6          for (int i = 0; i < source.length; i++) {
 7              destination[i] = source[i];
 8          }
 9      }
10
11      public static void main(String[] args) {
12          String[] tab1 = { "un", "deux", "trois" };
13          String[] tab2 = new String[tab1.length];
14          copier(tab2, tab1);
15
16          Object[] tab3 = { "un", "deux", new Integer(3) };
17          copier(tab2, tab3);
18      }
19  }
```

Tableau et sous-typage : héritage du passé !

Compilation : OK

C'est surprenant et peu logique d'après T. 253.

Résultats de l'exécution :

```
1  Exception in thread "main" java.lang.ArrayStoreException:
       java.lang.Integer
2          at TableauxSousTypage.copier(TableauxSousTypage.java:7)
3          at TableauxSousTypage.main(TableauxSousTypage.java:17)
```

Conséquences :

– Si B est un sous-type de A, alors B[] est un sous-type de A[].
  – *Justification :* compatibilité ascendante !
– Typage incomplet $\Longrightarrow$ erreur détectée à l'exécution (`ArrayStoreException`)

Et avec les listes ?

Première solution ?

```
public static <T> void copier(Liste<T> destination, Liste<T> source) {
    for (int i = 0; i < source.taille(); i++) {
        destination.ajouter(destination.taille(), source.item(i));
    }
}
```

– **Problème :** Peut-on ajouter une liste de PointNommé à une liste de Point ?

Deuxième solution ?

```
public static <T1, T2>
void copier(Liste<T1> destination, Liste<T2> source) {
    for (int i = 0; i < source.taille(); i++) {
        destination.ajouter(destination.taille(), source.item(i));
    }
}
```

Et non !

Et avec les listes ? (suite)

Solution : Dire qu'il y a une relation de sous-typage entre les deux types

```
public static <T1, T2 extends T1>
void copier(Liste<T1> destination, Liste<T2> source) {
    for (int i = 0; i < source.taille(); i++) {
        destination.ajouter(destination.taille(), source.item(i));
    }
}
```

Contrainte sur T2

Solution plus générale :

```
public static <T>
void copier(Liste<? super T> destination, Liste<? extends T> source) {
    for (int i = 0; i < source.taille(); i++) {
        destination.ajouter(destination.taille(), source.item(i));
    }
}
```

– **Plus général :** Le premier joker est tout super type de T.
– Utile si plusieurs destinations, ou un autre paramètre de type T.

Responsabilités d'une classe

Motivation : Un problème important dans le développement de logiciels est de savoir qui est responsable de quoi : **définition des responsabilités**.

C'est le problème que nous abordons ici.

Plan de la partie :

- Exemple introductif : les fractions
- Responsabilités de la classe Fraction
- Principe de protection en écriture des attributs
- Programmation défensive et exceptions
- Programmation par contrat
- Conclusions

Exemple : les fractions

Soit une classe Fraction définie par son numérateur et son dénominateur :

```
public class Fraction {
    public int numérateur;
    public int dénominateur;
    public Fraction(int num, int dén)   { ... }
    public void normaliser() { ... }
    ...
}
```

– Est-il utile de normaliser la représentation d'une fraction ? Pourquoi ?
– Qui doit utiliser normaliser ?
– Peut-on créer une Fraction(-4, -12) ?
– Peut-on toujours calculer l'inverse d'une Fraction ? Comment est-on averti si une opération n'est pas possible ?
– Quels sont les avantages/inconvénients de pouvoir accéder aux attributs numérateur et dénominateur ?

Responsabilités de la classe Fraction

Définition : Les responsabilités d'une classe décrivent ce à quoi elle s'engage au moyen :

– d'**invariants** : ils lient les requêtes (indirectement l'état interne de l'objet). Un invariant doit toujours être vérifié par tous les objets ;
– d'**obligations** : elles décrivent les méthodes de la classe.

Invariant de la classe Fraction : Une fraction est toujours normalisée.

– Le dénominateur est strictement positif.
– Le numérateur et le dénominateur sont réduits.
– La fraction nulle est représentée par 0/1.

Obligations de la classe Fraction :

– L'inverse n'a de sens que pour une fraction non nulle.
– etc.

Principe de protection en écriture des attributs

Principe : Les attributs ne doivent pas être publics.

Justification : Si une classe donne accès en écriture à un attribut, elle ne peut plus garantir la cohérence de ses objets (invariants).

Conséquence : Définir des méthodes d'accès et des méthodes d'altération. Les méthodes d'altération contrôlent la cohérence de la modification.

En Java :

– Déclarer les attributs `private` ;
– Définir une méthode d'accès (si l'attribut fait partie des requêtes) ;
– Définir une méthode de modification (si dans les commandes).

Remarque : Pour des raisons de simplicité, nous ne définirons les modifieurs et accesseurs que dans le cas où ils sont `public`.

Fraction et principe de protection en écriture des attributs

```
public class Fraction {
    private int numérateur;
    private int dénominateur;
    public Fraction(int num, int dén)   { set(num, dén); }
    public int getNumérateur()          { return numérateur; }
    public int getDénominateur()        { return dénominateur; }
    public void set(int n, int d)       { ... }
    public void set(int n)              { set(n, 1); }
    ...
}
```

Remarques :

– Les deux attributs sont **`private`** ;

– Chaque attribut possède son accesseur ;

– Les modificateurs individuels des attributs ne sont pas définis. Ils auraient pu être définies comme **`protected`**.

Notation : La convention Java est de préfixer le nom de l'attribut par « get » et le modifieur par « set ».

Programmation défensive

Principe : Les cas anormaux sont testés dans le sous-programme.

Traitements possibles :

– signaler un message d'erreur et continuer l'exécution ;
– signaler un message d'erreur et arrêter l'exécution ;
– renvoyer un code d'erreur ;
– particulariser une valeur de retour pour indiquer l'erreur ;
– réaliser un traitement par défaut (renvoyer une valeur valide) ;
– appeler une fonction fournie par l'appelant ;

Questions :

– Qui détecte l'erreur (ou le problème) ?
– Qui est capable de le résoudre ?

Meilleure solution : Signaler l'erreur en levant une **exception**.

Exceptions

- Exemple introductif
- Intérêt des exceptions
- Classification des exceptions en Java
- Mécanisme des exceptions
- Les exceptions utilisateur
- Exemples d'utilisation des exceptions
- Une exception est une classe
- Conseils sur l'utilisation des exceptions

Exceptions : Exemple démonstratif

```
1  import java.io.*;       // io pour input/output
2  public class Moyenne {
3    /** Afficher la moyenne des valeurs réelles du fichier args[0] */
4    public static void main (String args []) {
5      try {
6        BufferedReader in = new BufferedReader(new FileReader(args[0]));
7        int nb = 0;       // nb de valeurs lues
8        double somme = 0; // somme des valeurs lues
9        String ligne;             // une ligne du fichier
10       while ((ligne = in.readLine()) != null) {
11         somme += Double.parseDouble(ligne);
12         nb++;
13       }
14       in.close();
15       System.out.println("Moyenne = " + (somme / nb));
16     } catch (IOException e) {
17       System.out.println("Problème d'E/S : " + e);
18       e.printStackTrace();
19     } catch (NumberFormatException e) {
20       System.out.println("Une donnée non numérique : " + e);
21     }
22   }
23 }
```

Exceptions : Exemples d'utilisation de Moyenne

```
> java Moyenne Données1         # exécution nominale (10 15 20)
Moyenne = 15

> java Moyenne Données2         # (10 15 20 quinze)
Une donnée non numérique : java.lang.NumberFormatException: quinze

> java Moyenne                  # pas de fichier en argument
Exception in thread "main"java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException
        at Moyenne.main(Moyenne.java:6)

> java Moyenne Données4         # fichier contenant des lignes vides
Une donnée non numérique : java.lang.NumberFormatException: empty String

> java Moyenne Données5         # fichier inexistant
Problème d'E/S : java.io.FileNotFoundException: Données5 (Aucun fichier
ou répertoire de ce type)
java.io.FileNotFoundException: Données5 (No such file or directory)
        at java.io.FileInputStream.open(Native Method)
        at java.io.FileInputStream.<init>(FileInputStream.java:106)
        at java.io.FileInputStream.<init>(FileInputStream.java:66)
        at java.io.FileReader.<init>(FileReader.java:41)
        at Moyenne.main(Moyenne.java:6)

> java Moyenne Données3         # pas de valeur dans le fichier
Moyenne = NaN
```

Exceptions : Intérêts

Les exceptions permettent :

– de transférer le flot de contrôle de l'instruction qui lève l'exception (qui détecte l'anomalie) vers la partie du programme capable de la traiter ;
– d'éviter de surcharger le code d'une méthode avec de nombreux tests concernant des cas anormaux ;
– de regrouper le traitement des cas anormaux et erreurs ;
– de différencier les anomalies (différents types d'exception) ;

Remarque : Les exceptions peuvent être considérées comme des « goto » disciplinés.

Attention : Il ne faut pas abuser des exceptions et les réserver aux cas réellement anormaux ou d'erreurs.

Exceptions : Principe

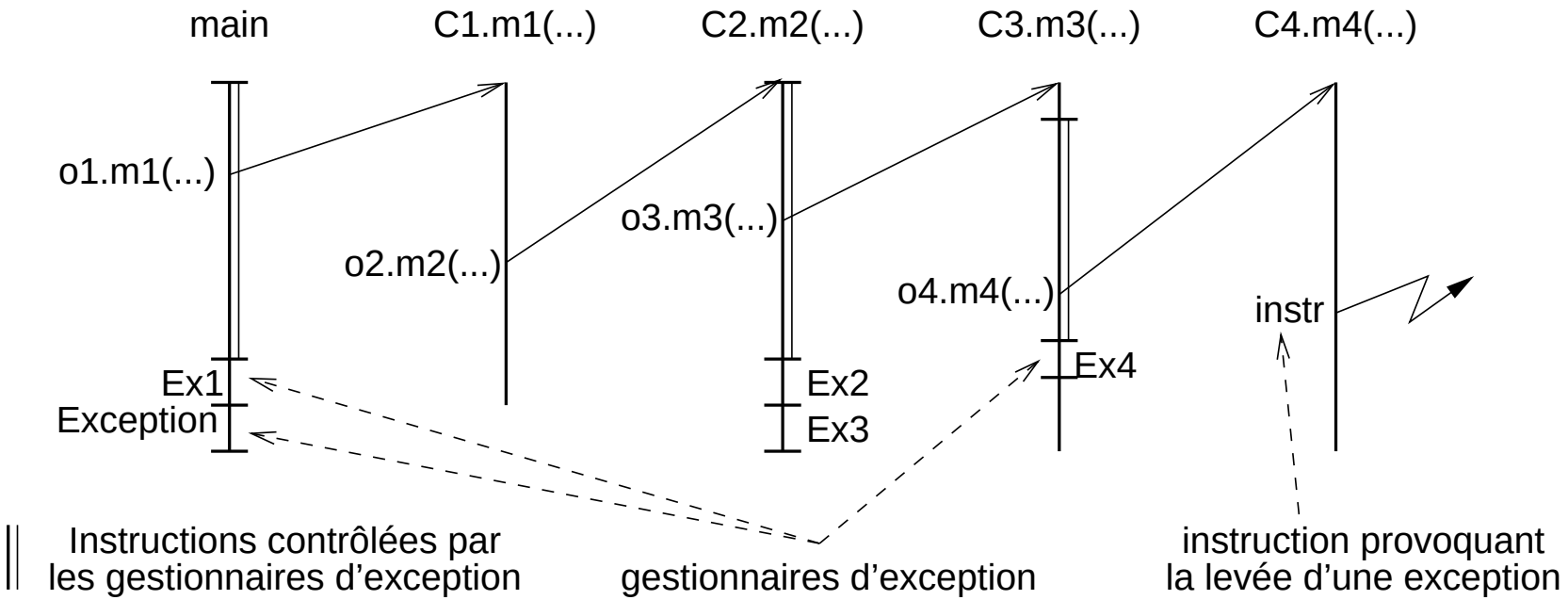
Motivation : Mécanisme pour le traitement des erreurs et/ou des cas anormaux.

Principe : Le mécanisme repose sur trois phases :

- une exception est *levée* quand une erreur ou anomalie est détectée ;
- l'exception est *propagée* : l'exécution séquentielle du programme est interrompue et le flot de contrôle est transféré aux gestionnaires d'exception ;
- L'exception est (éventuellement) *récupérée* par un gestionnaire d'exception. Elle est traitée et l'exécution « normale » reprend avec les instructions qui suivent le gestionnaire d'exception.

Remarque : Une exception non récupérée provoque l'arrêt du programme (avec affichage de la trace des appels de méthodes depuis l'instruction qui a levé l'exception jusqu'à l'instruction appelante de la méthode principale).

Mécanisme de propagation d'une exception



Exercice 38 Indiquer la suite du programme lorsque `instr` lève `Ex4`, `Ex3`, `Ex1`, `Ex5` et `Err`.

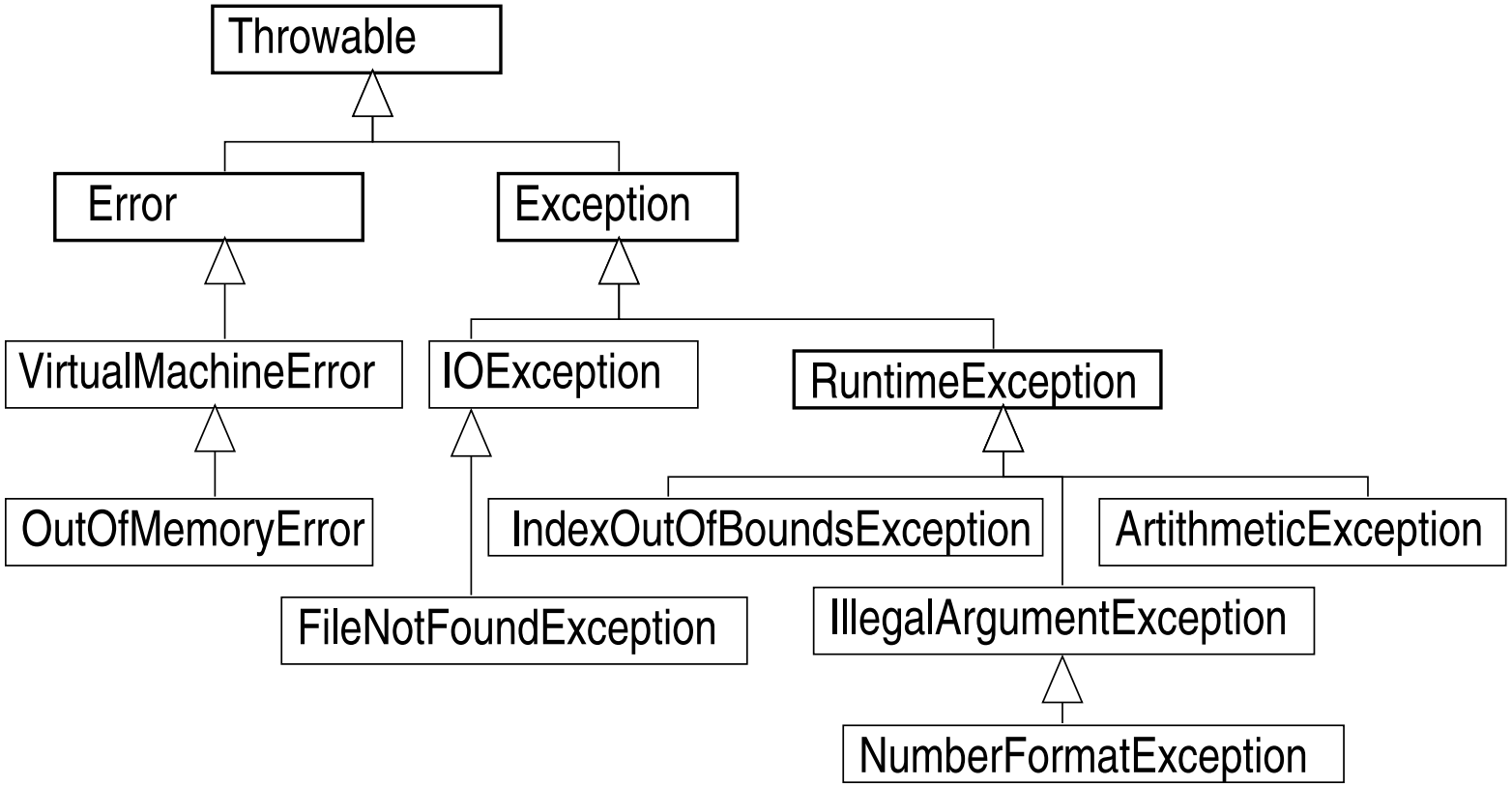
Illustration du mécanisme de propagation

```
1  /** Illustrer le mécanisme de propagation des exceptions */
2  public class ExceptionPropagation {
3      public static void m1() {
4          m2();
5      }
6      public static void m2() {
7          m3();
8      }
9      public static void m3() {
10         int n = 1 / 0;  // division par zéro !
11     }
12     public static void main(String[] args) {
13          m1();
14     }
15 }
```

```
Exception in thread "main" java.lang.ArithmeticException: / by zero
        at ExceptionPropagation.m3(ExceptionPropagation.java:10)
        at ExceptionPropagation.m2(ExceptionPropagation.java:7)
        at ExceptionPropagation.m1(ExceptionPropagation.java:4)
        at ExceptionPropagation.main(ExceptionPropagation.java:13)

shell returned 1
```

Hiérarchie des exceptions en Java

Principe : Toutes les exceptions en Java héritent de la classe Throwable. Voici un extrait de l'arbre d'héritage.



Classification des exceptions

Les exceptions sont forcément descendantes de la classe `Throwable`.

En Java, les exceptions sont classées en deux catégories :

- les **exceptions hors contrôle** :
  - classes descendantes de `java.lang.Error` : ce sont des erreurs non accessibles, qui ne peuvent généralement pas être récupérées (`OutOfMemoryError`, `AssertionError`, `NoClassDefFoundError`...) ;
  - classes descendantes de `java.lang.RuntimeException` : ce sont des erreurs de programmation ; elles ne devraient donc pas se produire (`NullPointerException`, `IndexOutOfBoundsException`...) ;
- les **exceptions sous contrôle**. Ce sont les classes qui ne sont sous-types ni de `java.lang.Error` ni `java.lang.RuntimeException`. Exemples : `java.io.IOException`, `Exception` ou `Throwable`.
  Le compilateur veut être sûr que le programmeur en a tenu compte.
  Elles correspondent à la notion de *robustesse*.

La classe `java.lang.Throwable`

- `Throwable(String message)` : constructeur avec un message expliquant la cause de l'exception ;
- `Throwable()` : constructeur par défaut (message == **`null`**) ;
- `Throwable(Throwable cause)` : constructeur avec cause ;
- `Throwable(String message, Throwable cause)` ;
- `printStackTrace()` : afficher la trace des appels de méthodes ;
- `getMessage()` : le message passé en paramètre du constructeur ;
- `getCause()` : la cause de l'exception ;
- ...

Les classes `java.lang.Exception` et `java.lang.Error`

- `Exception` et `Error` n'ajoutent aucune nouvelle caractéristique. Elles permettent simplement de classifier les anomalies.
- Elles définissent des constructeurs de même signature que `Throwable`.

Extrait des descendants de java.lang.Error

```
java.lang.AssertionError
java.lang.LinkageError
    +-- java.lang.ClassCircularityError
    +-- java.lang.ClassFormatError
        +-- java.lang.UnsupportedClassVersionError
    +-- java.lang.ExceptionInInitializerError
    +-- java.lang.IncompatibleClassChangeError
        +-- java.lang.AbstractMethodError
        +-- java.lang.IllegalAccessError
        +-- java.lang.InstantiationError
        +-- java.lang.NoSuchFieldError
        +-- java.lang.NoSuchMethodError
    +-- java.lang.NoClassDefFoundError
    +-- java.lang.UnsatisfiedLinkError
    +-- java.lang.VerifyError
java.lang.ThreadDeath
java.lang.VirtualMachineError
    +-- java.lang.InternalError
    +-- java.lang.OutOfMemoryError
    +-- java.lang.StackOverflowError
    +-- java.lang.UnknownError
```

Extrait des descendants de java.lang.RuntimeException

```
java.lang.ArithmeticException
java.lang.ArrayStoreException
java.lang.ClassCastException
java.lang.IllegalArgumentException
    +-- java.lang.IllegalThreadStateException
    +-- java.lang.NumberFormatException
java.lang.IllegalMonitorStateException
java.lang.IllegalStateException
java.lang.IndexOutOfBoundsException
    +-- java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException
    +-- java.lang.StringIndexOutOfBoundsException
java.lang.NegativeArraySizeException
java.lang.NullPointerException
java.lang.SecurityException
java.lang.UnsupportedOperationException
```

Extrait des autres descendants de Exception

```
java.lang.ClassNotFoundException
java.lang.CloneNotSupportedException
java.lang.IllegalAccessException
java.lang.InstantiationException
java.lang.InterruptedException
java.lang.NoSuchFieldException
java.lang.NoSuchMethodException

java.awt.AWTException
java.util.zip.DataFormatException
java.security.GeneralSecurityException
java.beans.IntrospectionException
java.io.IOException
org.xml.sax.SAXException
java.sql.SQLException
org.omg.CORBA.UserException
```

Lever une exception

L'opérateur **`throw`** permet de lever une exception. Une exception est une instance d'une classe descendant de Throwable (souvent de Exception).

Forme générale :

```
if (<condition anormale>) {
    throw new TypeException(<paramètres effectifs>);
}
```

Exemples : En considérant la classe Fraction :

```
public Fraction(int num, int dén) {
    if (dén == 0) {
        throw new ArithmeticException("Division␣par␣zéro");
    }
    ...
}
public Fraction(Fraction autre) {
    if (autre == null) {
        throw new IllegalArgumentException("Poignée␣nulle");
    }
    ...
}
```

Récupérer une exception

Le bloc **`try`** `{...}` peut être suivi de plusieurs gestionnaires d'exception :

```
catch (TypeExc1 e) {    // gestionnaire de l'exception TypeExc1
    // instructions à exécuter quand l'exception TypeExc1 s'est produite
} catch (TypeExc2 e) {  // e ≈ paramètre formel (peu importe le nom)
    // instructions à exécuter quand l'exception TypeExc2 s'est produite
} catch (Exception e) { // toutes les exceptions (utiles au programmeur)
    // instructions à exécuter si une exception se produit
} catch (Throwable e) {
    // Toutes les erreurs et autres! Utile?
}
```

Attention : L'ordre des **`catch`** est important (principe de substitution).

Remarque : Après l'exécution des instructions d'un **`catch`**, l'exécution continue après le dernier **`catch`** (sauf si une exception est levée).

Conseil : Ne récupérer une erreur que si vous savez comment la traiter (en totalité ou partiellement).

Traiter une exception

Si une exception est récupérée, c'est que l'on est capable de la traiter, au moins partiellement. Ce traitement est fait dans les instructions du **`catch`**. Il peut consister à :

– Réparer le problème et exécuter de nouveau l'opération (cf transparent suivant)
– Rétablir un état cohérent et continuer l'exécution sans recommencer
– Calculer un autre résultat remplaçant celui de la méthode
– Réparer localement le problème et propager l'exception

```
catch (TypeException e) {
   faire des choses;    // par exemple rétablir la cohérence de l'état
   throw e;             // propager l'exception
   throw new ExcQuiVaBien(e);   // OU Chaînage des exceptions (Java 1.4)
}
```

– Réparer localement le problème et lever une nouvelle exception
– Terminer le programme

Traiter une exception : exemple du réessai

```
boolean reussi = false;    // est-ce que l'opération a réussi ?
do {
   try {
      instructions_qui_peuvent_échouer();
      reussi = true; // ne sera exécutée que si aucune exception ne se
                     // produit dans instructions_qui_peuvent_échouer();
   } catch (TypeExc1 e) {
      traiter_TypeExc1();  // exemple : expliquer l'erreur à l'utilisateur
   } catch (TypeExc2 e) {
      traiter_TypeExc2();
   }
} while (! reussi);
// Les instructions ont été exécutées sans erreurs !
```

Exercice 39 Adapter cet algorithme pour limiter le nombre de réessais à 5.

Exceptions : la clause finally

Un bloc **`finally`** peut être mis après le dernier **`catch`** d'un bloc **`try`**. Les instructions du bloc **`finally`** seront toujours exécutées qu'il y ait ou non une exception levée, qu'elle soit récupérée ou non.

```
try {
    instructions_qui_peuvent_échouer();
} catch (TypeExc1 e) {
    traiter_TypeExc1();
} catch (TypeExc2 e) {
    traiter_TypeExc2();
} finally {
    instructions_toujours_exécutées();
}
```

Intérêt : Être sûr de libérer une ressource (faire un `dispose` sur un élément graphique, fermer un fichier – à condition que l'ouverture ait réussi...).

Documenter les exceptions : `javadoc` bien sûr !

L'étiquette `javadoc` `@throws` signale que la méthode peut lever une exception.

Justification : L'appelant de la méthode connait ainsi les exceptions potentielles

exception = paramètre en sortie... généralement non disponible.

Exemple : Spécification de la méthode `java.util.Collection.remove(Object)`

```
/**
 * Removes a single instance of the specified element from this
 * collection, if it is present (optional operation).  More formally,
 * removes an element <tt>e</tt> such that
 * <tt>(o==null ? e==null : o.equals(e))</tt>, if
 * this collection contains one or more such elements.  Returns
 * <tt>true</tt> if this collection contained the specified element (or
 * equivalently, if this collection changed as a result of the call).
 *
 * @param o element to be removed from this collection, if present
 * @return <tt>true</tt> if an element was removed as a result of this call
 * @throws ClassCastException if the type of the specified element
 *             is incompatible with this collection (optional)
 * @throws NullPointerException if the specified element is null and this
 *         collection does not permit null elements (optional)
 * @throws UnsupportedOperationException if the <tt>remove</tt> operation
 *         is not supported by this collection
 */
boolean remove(Object o);
```

Spécification des exceptions

Une exception correspond à un résultat transmis par une méthode.
Aussi, Java permet de spécifier les exceptions propagées par une méthode.

Remarque : En fait, Java n'impose (et le compilateur ne vérifie) que la spécification des exceptions sous contrôle.

Syntaxe : Toutes les exceptions sous contrôle qui sont (levées ou) propagées par une méthode doivent être déclarées en utilisant le mot-clé **`throws`**.

```
<modifieurs> Type maMéthode(Type1 a) throws TypeExc1, TypeExc2 { ... }
```

```
public static double racineCarrée(double x) throws MathException { ... }
```

Remarque : Le compilateur vérifie que toutes les exceptions (sous-contrôle) produites par les instructions du code de la méthode sont :

– soit récupérées et traitées par la méthode (clause **`catch`**) ;
– soit déclarées comme étant propagées (clause **`throws`**).

Spécification des exceptions : exemple

```
1  import java.io.FileReader;
2
3  class A {
4      void m1() {
5          FileReader f = new FileReader("info.txt");
6      }
7  }
```

Résultat de la compilation

```
ExceptionSpecificationReader.java:5: unreported exception
    java.io.FileNotFoundException; must be caught or declared to be
    thrown
       FileReader f = new FileReader("info.txt");
                      ^
1 error
```

Exceptions et sous-typage

Une méthode peut propager (donc lever) toute exception qui est :

– une descendante de `RuntimeException` ou `Error` (**`throws`** implicite) ;

– une descendante d'une des exceptions listées dans la clause **`throws`**.

Exemple : Voir le transparent précédent.

Remarque : L'héritage entre exceptions permet (principe de substitution) :

– de limiter le nombre d'exceptions à déclarer (**`throws`**) ;

– de récupérer dans un même **`catch`** plusieurs exceptions.

Attention : Dans les deux cas, on perd en précision !

Exceptions et redéfinition de méthode

Règle sur la redéfinition de méthode : Une méthode redéfinie ne peut lever que des exceptions qui ont été spécifiées par sa déclaration dans la classe parente.

$\Longrightarrow$ Elle ne peut donc pas lever de nouvelles exceptions (contrôlées).

```
1   class E1 extends Exception {}
2   class E2 extends E1 {}
3   class E3 extends E2 {}
4   class F1 extends Exception {}
5
6   class A {
7       void m() throws E2 { };
8   }
9
```

```
10  class B1 extends A {
11      void m() throws E1 { };
12  }
13  class B2 extends A {
14      void m() throws E3 { };
15  }
16  class B3 extends A {
17      void m() throws F1 { };
18  }
```

```
ExceptionSpecificationRedefinition.java:11: m() in B1 cannot override m() in
     A; overridden method does not throw E1
    void m() throws E1 { };
         ^
ExceptionSpecificationRedefinition.java:17: m() in B3 cannot override m() in
     A; overridden method does not throw F1
    void m() throws F1 { };
         ^
2 errors
```

Définition d'une exception : exception utilisateur

Exception : Une exception est tout objet instance d'une classe qui hérite de Throwable. Cependant, une exception utilisateur hérite généralement de Exception ou de l'une de ses descendantes.

Conseil : Choisir soigneusement la classe parente de son exception : l'exception doit-elle être sous contrôle ou hors contrôle du compilateur ?

Définition type d'une exception :

```
public class MathException extends Exception {
    public MathException(String s) {
        super(s);
    }
    public MathException() {    // utile ?
    }
}
```

Remarque : Cette classe, comme toute autre, peut avoir des attributs et des méthodes.

Exemple d'exception : la racine carrée

```
public class RacineCarree {
  public static double RC(double x) throws MathException {
    if (x < 0) {
      throw new MathException("Paramètre de RC strictement négatif : " + x);
    }
    return Math.sqrt(x);
  }

  public static void main (String args []) {
    try {
      double d = Console.readDouble("Donnez un réel : ");
      System.out.println("RC(" + d + ") = " + RC(d));
      for (int i = 0; i < 10; i++) {
        System.out.println("RC(" + i*i + ") = " + RC(i*i));
      }
    } catch (MathException e) {
      System.out.println("Anomalie : " + e);
    }
  }
}
```

Exemples d'exceptions sur la classe Fraction

```
public class DivisionParZeroException extends Exception {
    public DivisionParZeroException(String message) {
        super(message);
    }
}

public class Fraction {
    private int numérateur;
    private int dénominateur;
    public Fraction(int num, int dén) throws DivisionParZeroException {
        set(num, dén);
    }
    public void set(int n, int d) throws DivisionParZeroException {
        if (d == 0) {
            throw new DivisionParZeroException("Dénominateur nul");
        }
        ...
    }
    public Fraction inverse() throws DivisionParZeroException {
        return new Fraction(dénominateur, numérateur);
    }
    ...
}
```

Utilisation des exceptions de la classe Fraction

```
public class TestFractionExceptions {
    public static void main (String args []) {
        Fraction f;
        try {
            int n = Console.readInt("Numérateur : ");
            int d = Console.readInt("Dénominateur : ");
            f = new Fraction(n, d);
            System.out.println("f = ");
            f.afficher();
            System.out.println("inverse de f = ");
            f.inverse().afficher();
        }
        catch (DivisionParZeroException e) {
            System.out.println("Le dénominateur d'une fraction "
                        + "ne doit pas être nul");
            // Est-ce un message correct ?
        }
    }
}
```

Exercice 40 Peut-on connaître, dans le gestionnaire d'exception, la ligne du bloc **`try`** qui est à l'origine de l'exception (cf commentaire) ?

Une exception est une classe

Exercice 41 : Somme d'entiers

L'objectif est de calculer la somme des entiers donnés en argument de la ligne de commande en signalant les arguments incorrects. On indiquera le caractère incorrect (qui n'est donc pas un chiffre) et sa position dans l'argument comme dans les exemples suivants :

```
java Somme 10 15 20
Somme : 45

java Somme 10 15.0 20.0
Caractère interdit : >.< à la position 3 de 15.0
```

41.1 Écrire le programme qui réalise cette somme en signalant les erreurs éventuelles.

41.2 Comment faire pour indiquer le numéro de l'argument incorrect ?

41.3 Comment faire pour indiquer tous les arguments incorrects ?

Le programme calculant la somme des arguments

```
/** Programme sommant les entiers en argument de la ligne de commande. */
class Somme {

    public static void main (String args []) {
        try {
            int somme = 0;
            for (int i = 0; i < args.length; i++) {
                somme += Nombres.atoi(args[i]);
            }
            System.out.println("Somme : " + somme);
        }
        catch (FormatEntierException e) {
            System.out.println("Caractère interdit : >"
                + e.getCaractereErrone()
                + "< à la position "  + e.getPositionErreur()
                + " de " + e.getChaine());
        }
    }

}
```

L'exception `FormatEntierException`

```
/** Exception indiquant une représentation erronée d'un entier en base 10 */
public class FormatEntierException extends Exception {
    private String chaine;  // la chaîne contenant l'entier en base 10
    private int iErreur;    // indice de l'erreur dans chaine

    public FormatEntierException(String chaine, int indice) {
        super("Caractère invalide");
        this.chaine = chaine;
        this.iErreur = indice;
    }

    /** La chaîne contenant l'entier en base 10 */
    public String getChaine() { return this.chaine; }

    /** Position du premier caractère interdit (1 si c'est le premier) */
    public int getPositionErreur() { return this.iErreur + 1; }

    /** Premier caractère erroné. */
    public char getCaractereErrone() { return this.chaine.charAt(this.iErreur); }

    public String toString() {
        return "FormatEntierException: Erreur dans " + this.chaine
            + " à la position " + (this.iErreur+1);
    }
}
```

La méthode convertissant une chaîne en entier

```
/** Opérations sur les nombres */
public class Nombres {

    /** Conversion de chaîne de caractères en entier naturel.
      * @param s représentation d'un entier naturel en base 10
      * @return l'entier correspondant à s
      * @exception FormatEntierException la chaîne est mal formée
      */
    public static int atoi(String s) throws FormatEntierException {
        int resultat = 0;
        for (int i = 0; i < s.length(); i++) {
            char c = s.charAt(i);
            if (c >= '0' && c <= '9') {
                resultat = resultat * 10 + (c - '0');
            } else {
                throw new FormatEntierException(s, i);
            }
        }
        return resultat;
    }
}
```

Exceptions : quelques conseils

– La gestion des exceptions n'est pas supposée remplacer un test simple.
– Ne pas faire une gestion ultrafine des exceptions : multiplier les blocs **`try`** pénalise le programme en terme de performance.
– Ne pas museler les exceptions.

```
try { beaucoup de code }
catch (Exception e) {}
```

Si le compilateur vous signale des exceptions sous contrôle non gérées (ni récupérées, ni déclarées comme propagées), c'est pour vous aider ! L'ignorer en muselant les exceptions n'enlève pas le problème.

– Éviter d'imbriquer les blocs **`try`** (faire des méthodes auxiliaires).
– Ne pas avoir honte de propager une exception.
Si vous n'êtes pas capable de la traiter complètement, il est nécessaire de la propager vers l'appelant.

Programmation par contrat : analogie avec le contrat

Dans le **monde des affaires**, un contrat est une spécification précise (légalement non ambiguë) qui définit les obligations et les bénéfices des (deux) parties prenantes.

	obligations	bénéfices
client	payer un mois à l'avance son voyage sans annulation possible	obtenir un tarif préférentiel pour le voyage
fournisseur	sélectionner et réserver les hôtels, avions, dans le budget défini	faire des bénéfices, même si le client ne part pas

Exemple très simplifié : un client doit payer un certain montant (son obligation) et son fournisseur lui rend un service (réalise un projet).

Programmation : Une méthode est le fournisseur, l'appelant est le client.

Programmation par contrat : Mise en œuvre

Pour chaque méthode :

– *préconditions :* obligation du programme appelant et bénéfice de la méthode. C'est le programme appelant qui doit les vérifier.

– *postconditions :* bénéfice pour l'appelant et obligation pour la méthode. Elles doivent être remplies à la fin de l'exécution de la méthode (si ses préconditions étaient satisfaites).

Pour chaque classe :

– *invariants :* définissent les propriétés qui doivent toujours être vérifiées par un objet de la classe (depuis sa construction jusqu'à sa destruction) en particulier, (avant et) après l'appel de chaque méthode.

Non respect d'un contrat : C'est une erreur de programmation (du client dans le cas d'une précondition, du fournisseur sinon) provoquant l'arrêt du programme ou, mieux, la levée d'une exception (à ne pas récupérer).

Programmation par contrat et racine carrée

```
1  public class RacineCarree {
2    /** Racine carrée.  */
3    //@ requires x >= 0;                  // x positif
4    //@ ensures \result >= 0;             // la racine carrée est positive
5    //@ ensures \result * \result == x;   // son carré est x
6    public static double RC(double x) {
7      return Math.sqrt(x);
8    }
9
10   public static void main (String args []) {
11       double d = Console.readDouble("Donnez un réel : ");
12       if (d >= 0) {     // test explicite !!!
13         System.out.println("RC(" + d + ") = " + RC(d));
14       }
15       for (int i = 0; i < 10; i++) {
16         System.out.println("RC(" + i*i + ") = " + RC(i*i));
17       }
18   }
19 }
```

Remarque : Utiliser l'égalité sur des réels est une erreur !

Programmation par contrat : bénéfices

Intérêts :

- *définition des responsabilités :* chacun sait qui fait quoi ;
- *documentation :* les classes et méthodes sont documentées formellement donc sans ambiguïtés ;
- *aide à la mise au point* (instrumentation du code avec les assertions) :
  - vérification dynamique des assertions ;
  - détection des erreurs au plus tôt (près de leur origine) ;
- *exploitable par outils d'analyse statique et générateurs de tests* ;
- *code final optimisé* (non vérification des assertions).

Inconvénients : Les préconditions et surtout les postconditions sont souvent difficiles à identifier (complétude) et à exprimer (référence à l'état précédent, utilisation de quantificateurs existentiels et universels, etc.).

Exercice 42 Donner les contrats de la méthode pgcd.

Programmation par contrat en pratique

La programmation par contrat existe :

– Eiffel : complètement intégrée au langage ;
– UML : des stéréotypes sont définis «invariant», «precondition», «postcondition» ainsi qu'un langage d'expression de contraintes OCL.
– Java : envisagée par les auteurs du langage mais non implantée.
  – Java 1.4 introduit une clause `assert` (voir T. 316).
  – Elle est cependant accessible au travers d'extensions telles que *iContract*, *jContractor*, *Jass*... et surtout *JML*.

Mise en œuvre avec *JML*

– spécifier le comportement dans des commentaires `/*@ ... @*/` et `//@` ;
– compiler en utilisant `jmlc` pour instrumenter les assertions ;
– exécuter avec `jmlrac` ;
– engendrer la documentation avec `jmldoc`.
– engendrer les programmes de test (`jmlunit`)

JML : Java Modeling Language

JML : un langage de spécification du comportement introduisant préconditions (`requires`), postconditions (`ensures`) et invariants (`invariant`).

Un **contrat** est exprimé avec la syntaxe Java enrichie :

– de l'implication `==>` (et `<==`) et de l'équivalence `<==>` (et `<=!=>`).

```
a ==> b  est équivalent à (! a) || b
a <==> b (si et seulement si) est équivalent à a == b
```

– des quantificateurs universel (`\forall`) et existentiel (`\exists`).

```
(\forall déclarations; contraintes; expression booléenne)
(\forall int i; i >= 0 && i < tab.length; tab[i] > 0);
    // tous les éléments de tab sont strictement positifs
(\exists int i; i >= 0 && i < tab.length; tab[i] > 0);
    // Il existe un élément de tab strictement positif
```

– d'autres quantificateurs `\min`, `\max`, `\product`, `\sum`.

```
(\sum int i; i >= -2 && i <= 1; i);  // -2, -2 + -1 + 0 + 1
(\max int i; i > -2 && i < 3; i*i);  // 4, max(-1*-1, 0*0, 1*1, 2*2)
(\min int i; i > -2 && i < 3; i*i);  // 0, min(-1*-1, 0*0, 1*1, 2*2)
(\product int i; i > 0 && i < 5; i); // 24, 1 * 2 * 3 * 4 (= 4!)
```

JML : Extension pour les postconditions

Dans la **postcondition** (`ensures`) d'une méthode `m`, on peut utiliser :

– `\result` pour faire référence au résultat de cette méthode `m` ;

```
//@ requires x != 0;
//@ ensures Math.abs(x * \result - 1) <= EPSILON;       // prendre l'un
//@ ensures Math.abs(inverse(\result) - x) <= EPSILON;  // ou l'autre
public static /*@ pure @*/ double inverse(double x) {
    return 1.0 / x;
}
```

Remarque : On peut avoir un contrat récursif.

– `\old(expr)` : valeur de `expr` avant l'exécution de cette méthode `m` ;

```
class Compteur {
    private int valeur;
    public /*@ pure @*/ int getValeur() {
        return this.valeur;
    }
    //@ ensures getValeur() == \old(getValeur()) + 1;
    public void incrementer() {
        this.valeur++;
    }
}
```

JML : Contrats et droits d'accès

– Un contrat ne peut utiliser que des méthodes pures (sans effet de bord).
Justification : L'exécution du programme ne doit pas dépendre de l'effet d'un contrat car les contrats peuvent être (et seront) désactivés.
Conséquence : Utiliser `/*@ pure @*/` avant le type de retour de la méthode (car Java ne permet pas d'exprimer une telle propriété).

– Les invariants peuvent être **`public`** ou **`private`** (choix de réalisation).
Remarque : Un invariant privé n'a pas de conséquence sur l'utilisateur de la classe mais seulement sur l'implémenteur.

– Le contrat d'une méthode ne peut utiliser que des méthodes ou attributs de droits d'accès au moins égaux à ceux de cette méthode.
Justification : L'appelant doit pouvoir évaluer le contrat.

Programmation par contrat : la classe Fraction (1/4)

```
/** La classe Fraction représente les fractions rationnelles. */
public class Fraction {
    //@public invariant Entier.pgcd(getNumerateur(),
    //@                                 getDenominateur()) == 1;
    //@public invariant getNumerateur() == 0 ==> getDenominateur() == 1;
    //@public invariant getDenominateur() > 0;

    private int num;    // le numérateur
    private int den;    // le dénominateur
    final public static Fraction UN = new Fraction(1);  // fraction unité

    /** Initialiser une fraction.
     * @param  n le numérateur
     * @param  d le dénominateur (non nul !) */
    //@ requires d != 0;
    //@ ensures n * getDenominateur() == d * getNumerateur();
    public Fraction(int n, int d)       { set(n, d); }

    /** initialiser une fraction à partir d'un entier (numérateur).
     * @param  n le numérateur */
    //@ ensures n == getNumerateur();
    //@ ensures 1 == getDenominateur();
    public Fraction(int n)              { this(n, 1); }
```

Programmation par contrat : Fraction (2/4)

```
/** @return le numérateur de la fraction */
public /*@ pure @*/ int getNumerateur()     { return num; }

/** @return le dénominateur de la fraction.  */
//@ ensures getDenominateur() > 0;
public /*@ pure @*/ int getDenominateur()   { return den; }

/** Modifier une fraction.
 * @param  n le nouveau numérateur
 * @param  d le nouveau dénominateur (non nul !)
 */
//@ requires d != 0;
//@ ensures n * getDenominateur() == d * getNumerateur();
public void set(int n, int d) {
    num = n;
    den = d;
    normaliser();
}

/** normaliser la fraction. */
private void normaliser()           { ... }
```

Programmation par contrat : Fraction (3/4)

```
/** Changer le signe de la fraction. */
//@ ensures getNumerateur() == - \old(getNumerateur());
//@ ensures getDenominateur() == \old(getDenominateur());
public void opposer()           { num = - num; }

/** @return la fraction opposée */
//@ ensures \result.getNumerateur() == - getNumerateur();
//@ ensures \result.getDenominateur() == getDenominateur();
public Fraction opposee() {
    return new Fraction(- getNumerateur(), getDenominateur());
}

/** Inverser la fraction. */
//@ requires getNumerateur() != 0;
//@ ensures getNumerateur() * \old(getDenominateur())
//@             == \old(getNumerateur()) * getDenominateur();
public void inverser()          { set(den, num); }

/** Inverse de la fraction. */
//@ requires getNumerateur() != 0;
//@ ensures \result.produit(this).equals(UN);
public Fraction inverse()       { return new Fraction(den, num); }
```

Programmation par contrat : Fraction (4/4)

```
/** le produit avec une autre fraction. */
//@ ensures \result.equals(new Fraction(num * autre.num, den * autre.den));
public /*@ pure @*/ Fraction produit(Fraction autre) {
    return new Fraction(num * autre.num, den * autre.den);
}

/** Égalité logique entre fractions. */
//@ ensures \result == ((getNumerateur() == autre.getNumerateur()
//@                 && getDenominateur() == autre.getDenominateur()));
public /*@ pure @*/ boolean equals(Fraction autre) {
    return num == autre.num && den == autre.den;
}

/** Afficher la fraction. */
public void afficher()
{
    System.out.print(getNumerateur());
    if (getDenominateur() > 1) {
        System.out.print("/" + getDenominateur());
    }
}
}
```

Quelques questions sur la classe Fraction

- Comment exprimer formellement les choix de réalisation faits ?
- Est-on sûr que la fraction UN correspondra toujours à la fraction unité (1/1) ?
- Est-ce que la méthode `equals` définie est suffisante pour définir l'égalité logique entre fractions ?
- Que serait-il préférable de définir au lieu de la méthode `afficher()` ?

Programmation par contrat : utilisation de Fraction

```
public class TestFractionDBC {
    public static void main (String args []) throws java.io.IOException {
        int n, d;       // numérateur et dénominateur d'une fraction
        do {
            n = Console.readInt("Numérateur : ");
            d = Console.readInt("Dénominateur : ");
            if (d == 0)
                System.out.println("Le dénominateur doit être > 0 !");
        } while (d == 0);
        Fraction f = new Fraction(n, d);
        System.out.print("La fraction est : ");
        f.afficher();
        System.out.println();
        if (f.getNumerateur() != 0) {
            System.out.print("Son inverse est : ");
            f.inverse().afficher();
            System.out.println();
        }
    }
}
```

Programmation par contrat et constructeurs

Un constructeur a pour rôle d'établir l'invariant de l'objet en cours de création.

Justification : Les invariants doivent toujours être vrais, donc dès la création d'un objet.

Remarque : Ce rôle des constructeurs permet de justifier leur présence et le fait qu'un constructeur est toujours appliqué lors de la création d'un objet.

Cependant le rôle du constructeur est, *à mon sens*, plus important : il sert non seulement à établir l'invariant mais aussi à initialiser l'objet dans l'état souhaité par l'utilisateur.

Programmation par contrat et sous-typage

Analogie avec la sous-traitance : Le fournisseur peut sous-traiter le travail pour un tarif inférieur ou égal au prix négocié avec le client en exigeant une qualité au moins égale.

Sous-traitance = (re)définition d'une méthode dans une sous-classe.

Règles à respecter :

– affaiblir les préconditions (`require else` en Eiffel) ;
– renforcer les postconditions (`ensure then` en Eiffel) ;
– les invariants sont hérités et peuvent être renforcés.

Attention : Le langage et le compilateur ne vérifie par toujours ces règles. C'est donc au programmeur d'être vigilant !

Attention : L'instrumentation ne permet généralement pas de vérifier cette règle.

Utilisation de la clause `assert`

```
 1  public class RacineCarree {
 2      /** Racine carrée.  */
 3      public static double RC(double x) {
 4          assert x >= 0 : "x négatif " + x;
 5          double result = Math.sqrt(x);
 6          assert result >= 0 : result;
 7          assert result * result == x : result;
 8          return result;
 9      }
10
11      public static void main (String args []) {
12          double d = Console.readDouble("Donnez un réel : ");
13          if (d >= 0) {   // test explicite !!!
14              System.out.println("RC(" + d + ") = " + RC(d));
15          }
16          for (int i = 0; i < 10; i++) {
17              System.out.println("RC(" + i*i + ") = " + RC(i*i));
18          }
19          // Attention, sans test !!!
20          System.out.println("RC(" + (-d) + ") = " + RC(-d));
21    }
22  }
```

Utilisation de la clause `assert`

La clause `assert` a été ajoutée à la version 1.4 du langage Java.

Elle modifie le langage et, en conséquence, il faut dire explicitement au compilateur d'utiliser la version 1.4 du langage.

```
licorne> javac -source 1.4 RacineCarree.java
```

Par défaut, les assertions ne sont pas vérifiées. Elles sont activées avec l'option `-ea` et désactivées avec `-da` au niveau de la classe ou du paquetage (-esa et -dsa pour les classes système).

```
licorne> java -ea RacineCarree  # toutes les classes sauf système
Donnez un réel :  4
RC(4.0) = 2.0
RC(0) = 0.0
...
RC(81) = 9.0
Exception in thread "main" java.lang.AssertionError: x négatif -4.0
        at RacineCarree.RC(RC_assert.java:4)
        at RacineCarree.main(RC_assert.java:20)
```

Exceptions vs programmation par contrat

Remarque : Ce sont deux techniques non exclusives !

Cas où préférer les exceptions :

– l'évaluation de la précondition est coûteuse et redondante avec le traitement (exemples : `parseInt`, recherche dans un arbre, etc.) ;
– impossibilité de donner une précondition (exemple : appel de procédure à distance, écriture dans un fichier, etc.) ;
– cas anormal mais que l'on considère comme pouvant se produire ($\neq$ erreur de programmation) : saisies utilisateur, etc.

Cas où préférer la programmation par contrat :

– les parties liées par contrats sont maîtrisées ;
  Remarque : La JVM charge dynamiquement les classes
  $\Longrightarrow$ SUN préfère les exceptions pour les méthodes publiques !
– erreur manifeste de programmation (non récupérable) ;
– efficacité du programme (éviter des tests dans les méthodes appelées) ;
– mécanisme supporté par l'environnement de développement !

Classes internes...

Exercice 43 : Améliorer `OutilsListe.somme`

Dans l'exercice 18, nous avons défini une interface `Liste` et deux réalisations `ListeTab` (les éléments sont stockés dans un tableau) et `ListeChaînée` (les éléments sont chaînés). Nous avons également écrit une classe `OutilsListe` qui définit la méthode `somme`.

```
/** Quelques méthodes utiles sur les listes.  */
public class OutilsListe {
    /* Calculer la somme des réels d'une liste.
     * @param l la liste dont on veut sommer les valeurs
     * @return la somme des valeurs de l */
    static public double somme(Liste l) {
        double resultat = 0;
        for (int i = 0; i < l.taille(); i++) {
            resultat += l.item(i);
        }
        return resultat;
    }
}
```

Sommer les éléments d'une liste chaînée est inefficace. Proposer un mécanisme plus efficace... et général.

Solution

Problème : Utiliser le méthode `item(int)` n'est pas efficace sur `ListeChaînée` (parcours des cellules depuis la première).

But : Fournir le moyen de faire un parcours de la liste (donc général) qui puisse être efficace pour `ListeTab`, `ListeChaînée`...

Solution : Définir une interface qui abstrait le parcours d'une liste.

```
1  /** Un iterateur permet de parcourir tous les éléments d'une liste.
2    * @version    1.1 */
3  public interface Iterateur<T> {
4
5      /** Est-ce qu'il y a encore des éléments à parcourir ? */
6      boolean encore();
7
8      /** Récupérer l'élément suivant. */
9      T suivant();
10 }
```

et définir une réalisation pour `ListeTab`, `ListeChaînée`...

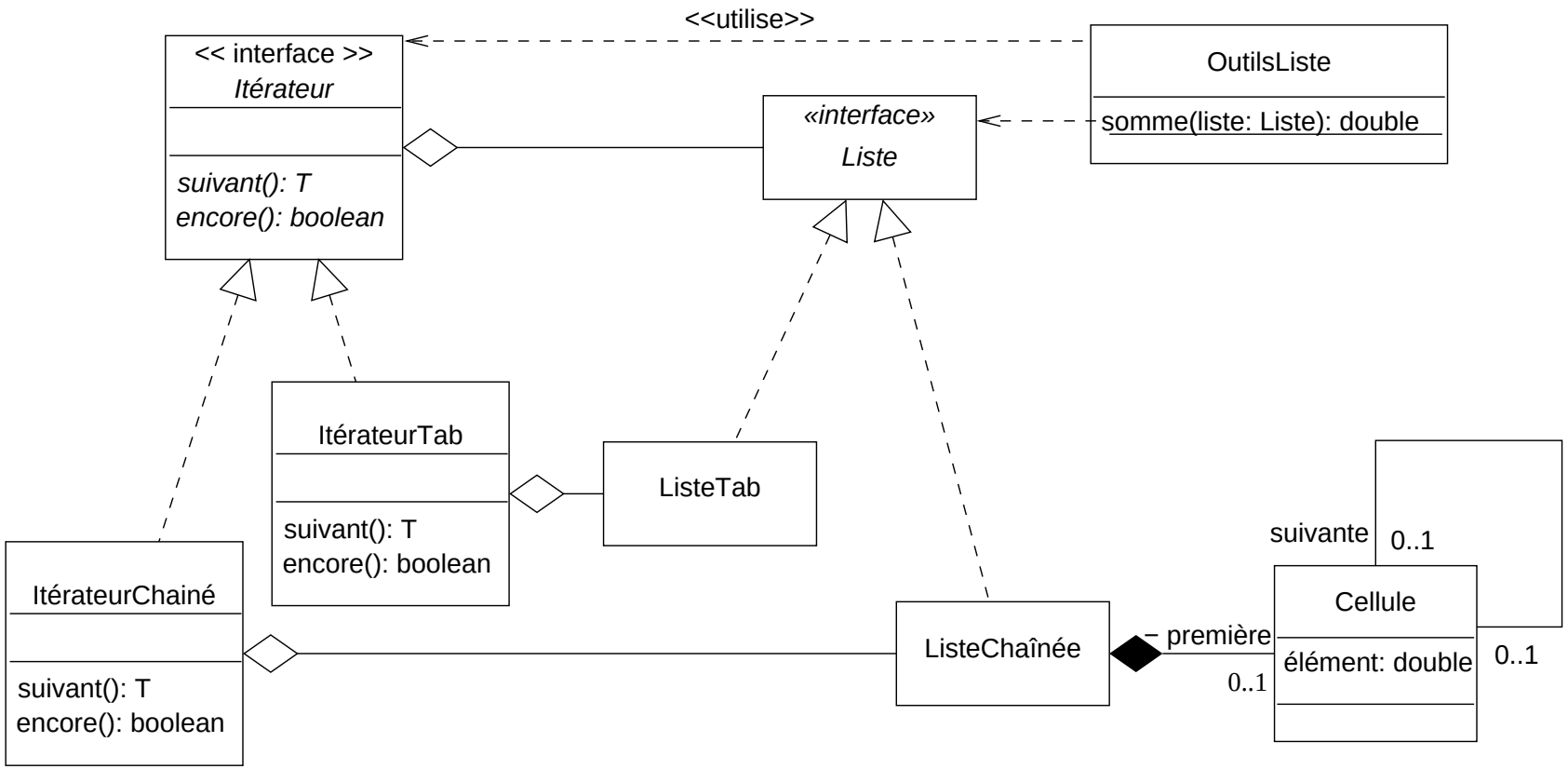
Ajouter un itérateur sur `Liste`

```
1  public interface Liste {
2      /** L'itérateur qui permet de réaliser un parcours de la liste. */
3      Iterateur iterateur();
4
5  }
```

Nouvelle écriture de `somme` :

```
1  /** Quelques méthodes utiles sur les listes.  */
2  public class OutilsListe {
3      /* Calculer la somme des réels d'une liste.
4       * @param l la liste dont on veut sommer les valeurs
5       * @return la somme des valeurs de l */
6      static public double somme(Liste l) {
7          double resultat = 0;
8          Iterateur it = l.iterateur();
9          while (it.encore()) {
10             resultat += it.suivant();
11         }
12         return resultat;
13     }
14 }
```

Diagramme de classes des itérateurs de Liste



```java
/** Itérateur sur un tableau (par exemple de ListeTab)
  * @author    Xavier Crégut
  * @version   1.1 */
class IterateurTab implements Iterateur {
    private double[] elements;  // les éléments à parcourir
    private int nb;             // le nb d'élements
    private int curseur;        // élément à parcourir

    public IterateurTab(double[] elts, int taille) {
        this.elements = elts;
        this.nb = taille;
        this.curseur = 0;
    }

    public boolean encore() {
        return this.curseur < this.nb;
    }

    public double suivant() {
        return this.elements[this.curseur++];
    }
}
```

Discussion

De manière générale, l'itérateur (ici `IterateurTab`) devrait *avoir accès* à la structure de données (ici `ListeTab`). Voir le diagramme de classe !
Justification : détecter les modifications concurrentes en consultant une information de la structure de données (nombre de modifications).

- `IterateurTab` est une classe extérieure à `ListeTab`
- `IterateurTab` doit accéder à la représentation interne de `ListeTab`

$\Longrightarrow$ **deux solutions :**

1. `ListeTab` ajoute des méthodes de manipulation de sa représentation interne MAIS violation du principe d'encapsulation !
2. `ListeTab` fournit en paramètre du constructeur de `IterateurTab` ses données internes (solution choisie).

Comment faire pour garder une solution plus proche du diagramme de classe : l'itérateur a accès à la structure de données ?
$\Longrightarrow$ On utilise une **classe interne** !

```java
public class ListeTab<T> implements Liste<T> {
    private T[] elements;       // les éléments de la liste
    private int nb;             // la taille de la liste

    public Iterateur<T> iterateur() {
        return new IterateurTab<T>(this);
    }

    static private class IterateurTab<T> implements Iterateur<T> {
        private ListeTab<T> liste; // liste à parcourir
        private int curseur;    // élément à parcourir

        public IterateurTab(ListeTab<T> l) {
            this.liste = l;
            this.curseur = 0;
        }

        public boolean encore() {
            return this.curseur < this.liste.nb;
        }

        public T suivant() {
            return this.liste.elements[this.curseur++];
        }
    }
}
```

Discussion sur la classe interne « statique »

Ici, nous avons défini une classe interne « statique » et privée.

Remarque : Une classe interne a un droit d'accès.

Intérêt de la classe interne « statique » : elle peut accéder à toutes les caractéristiques (y compris `private`) de la classe qui la contient.

Ici, ceci permet donc :

- de *conserver l'encapsulation* de `ListeTab` : aucune méthode ajoutée ;
- de *conserver le sens du diagramme UML* : `IterateurTab` utilise `ListeTab` ;
- MAIS ceci est assez *lourd*. Ne pourrait-on pas directement avoir accès aux caractéristiques de l'objet de la classe englobante ?
  $\Longrightarrow$ C'est la notion de **classe interne propre** (non « statique ») :

```java
public class ListeTab<T> implements Liste<T> {
    private T[] elements;       // les éléments de la liste
    private int nb;             // la taille de la liste

    public Iterateur<T> iterateur() {
        return new IterateurTab();
    }

    private class IterateurTab implements Iterateur<T> {
        private int curseur;    // élément à parcourir

        public IterateurTab() {
            this.curseur = 0;
        }

        public boolean encore() {
            return this.curseur < ListeTab.this.nb;
                // accès à l'attribut nb de l'objet englobant
        }

        public T suivant() {
            return elements[this.curseur++];
                // implicitement ListeTab.this.elemnets
        }
    }
}
```

Classe interne

Définition : Une classe interne est une classe définie à l'intérieur d'une autre classe.

Avantages : La classe interne est dans l'espace de nom de l'autre classe et a donc accès à toutes ses informations (y compris celles déclarées **`private`**).

Classe interne membre : (T. 328) Elle contient un accès sur l'objet qui a permis sa création (et récupère les paramètres de généricité).

```
Liste<Double> ll = ...;
Iterateur<Double> it = ll.iterateur();
    // it est construit à partir de ll

ListeTab<Double> lt = ...;
Iterateur<Double> it2 = lt.new IterateurTab();
```

Classe interne « statique » : (T. 326) Elle n'est associée à aucun objet de la classe englobante.

Classe anonyme

```
1  public class ListeTab<T> implements Liste<T> {
2      private T[] elements;       // les éléments de la liste
3      private int nb;             // la taille de la liste
4
5      public Iterateur<T> iterateur() {
6          return new Iterateur<T>() {
7              private int curseur = 0;    // élément à parcourir
8
9              public boolean encore() {
10                 return this.curseur < nb;
11             }
12
13             public T suivant() {
14                 return elements[this.curseur++];
15             }
16         };      // Ne pas oublier le point-virgule
17     }
18 }
```

– Une classe anonyme est une classe qui n'a qu'une seule instance.
– Peut avoir accès aux variables locales du sous-programme à condition qu'elles soient déclarées **`final`** ;

Principales API du langage Java

Les collections

Définition : Une *collection* est un objet qui représente un groupe d'*éléments* de type E (généricité depuis java 1.5).

Principaux constituants :

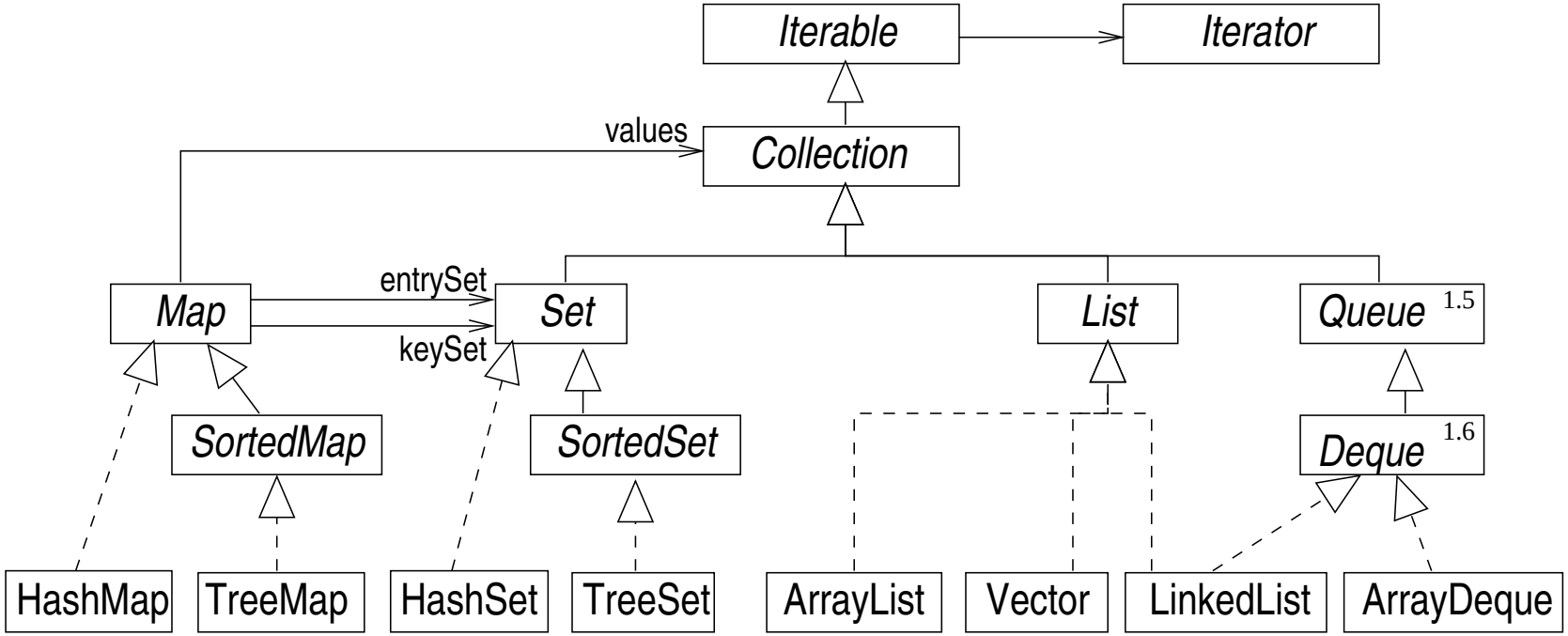
- **Interfaces :** types abstraits de données qui représentent les collections :
  - un type (liste, ensemble, file, tableau associatif, etc.)
  - les opérations disponibles sur ce type
  - la sémantique (informelle) des opérations
- **Réalisations (implantations) :** réalisations concrètes des interfaces en s'appuyant sur différentes solutions pour stocker les éléments (tableau, structures chaînées, table de hachage, arbre, etc.).
- **Algorithmes :**
  - algorithmes classiques sur une collection (chercher, trier, etc.)
  - polymorphes : fonctionnent avec plusieurs collections

Intérêt des collections

- **Réduire les efforts de programmation**
  - réutiliser les collections de l'API
- **Augmenter la vitesse et la qualité des programmes**
  - efficaces car réalisées par des experts
  - les collections fournissent des opérations de haut niveau (testées !)
  - possibilité de substituer une réalisation par une autre
- **Permettre l'interopérabilité entre différentes API**
  - les données échangées le sont sous forme de collections.
- **Faciliter l'apprentissage de nouvelles API**
  - pas de partie spécifique traitant les collections
- **Favoriser la réutilisation logicielle :**
  - les anciens algorithmes fonctionneront avec les nouvelles collections
  - et les anciennes collections avec les nouveaux algorithmes

Hiérarchie des structures de données en Java

Voici un extrait du diagramme de classes concernant les structures de données de Java.



Remarque : `Vector` est une « ancienne » classe qui a été modifiée pour faire partie de la hiérarchie *`Collection`*. C'est la seule classe « synchronisée ».

Principales *collections*

- **Collection :** le type le plus général des collections.
- **List :** les éléments ont une position (numéro d'ordre)
- **Set :** Notion d'ensemble au sens mathématique :
  - pas de double possible
- **SortedSet** : un ensemble muni d'une relation d'ordre (éléments triés)
  - ne pas faire de modification sur un objet qui a une incidence sur la relation d'ordre utilisée !
- **Queue** : une file, avec politique FIFO ou autre.
- **Deque** : (Double Ended Queue) : sous-type de Queue qui permet toutes les manipulations sur le début et la fin de la file.
- **Map** : tableau associatif, i.e. manipulation d'une information à partir d'une clé (p.ex. répertoire téléphonique).
  Attention, ce n'est pas un sous-type de collection !
- **SortedMap** : un tableau associatif avec une relation d'ordre sur les clés.

L'interface *java.util.Collection*

- *Collection* : super-type des structures de données de Java (sauf Map)
- Avant Java 1.5, les éléments d'une collection étaient du **type Object**
  Depuis 1.5, les collections sont **paramétrées par E**, type des éléments
- Une collection peut autoriser ou non plusieurs **occurrences** d'un même élément (List vs Set)
- Les éléments peuvent être **ordonnés** (position) ou non (List vs Set)
- Les éléments peuvent être **triés** ou non (Set vs SortedSet)
- Pour **limiter le nombre d'interfaces**, certaines méthodes peuvent :
  - ne pas être définies sur un sous-type (UnsupportedOperationException)
  - lever ClassCastException (cf checkedList, etc.)
- Toute réalisation d'une *Collection* devrait définir :
  - un constructeur par défaut (qui crée une collection vide) et
  - un constructeur qui prend en paramètre une collection (conversion)

L'interface *java.util.Collection<E>*

C'est la racine de la hiérarchie définissant les collections (groupe d'éléments).

```
boolean add(E o)          // ajouter l'élément (false si doubles interdits)
boolean addAll(Collection<? extends E> c)  // ajouter les éléments de c
void clear()              // supprimer tous les éléments de la collection
boolean contains(Object o)      // est-ce que la collection contient o ?
boolean containsAll(Collection<?> c)    // ... tous les éléments de c ?
boolean isEmpty()               // aucun élément ?
Iterator<E> iterator()          // un itérateur sur la collection
boolean remove(Object o) // supprimer l'objet o (collection changée ?)
boolean removeAll(Collection<?> c)      // supprimer tous les élts de c
boolean retainAll(Collection<?> c)      // conserver les éléments de c
int size()                // le nombre d'éléments dans la collection
Object[] toArray() // un tableau contenant les éléments de la collection
<T> T[] toArray(T[] a) // un tab. (a si assez grand) avec les éléments
```

Remarque : Certaines opérations sont optionnelles ou imposent des restrictions. Dans ce cas, elles doivent lever une exception !

L'interface *java.util.List<E>*

Structure de données où chaque élément peut être identifié par sa position.

```
boolean add(E e)          // ajouter e à la fin de la liste
void add(int i, E e)      // ajouter e à l'index i
E set(int i, E o)
boolean addAll(int, Collection<? extend E> c)   // ... insérés à partir de i

E get(int i)              // élément à l'index i
int indexOf(Object o)     // index de l'objet o dans la liste ou -1
int lastIndexOf(Object o)       // dernier index de o dans la liste
List<E> subList(int from, int to)       // liste des éléments [from..to[

E remove(int i)           // supprimer l'élément à l'index i

ListIterator<E> listIterator()          // itérateur double sens
ListIterator<E> listIterator(int i)     // ... initialisé à l'index i

... et celles de collection !
```

La classe java.util.Vector<E>

Objectif : Disposer de tableaux automatiquement redimensionnables.

Remarque : La classe Vector est définie dans le paquetage java.util.

Constructeurs : Sauf contre-indication, ils créent des vecteurs vides.

```
Vector(int capacitéInitiale, int incrémentCapactité)
Vector(int capacitéInitiale)    // Vector(capacitéInitiale, 4)
Vector()                        // Vector(10);
Vector(Collection<? extends E> c) // vecteur contenant les éléments de c
```

Méthodes élémentaires : (équivalentes à celles des tableaux)

```
int size()      // le nombre d'éléments du vecteur (taille effective)
int capacity()  // capacité du vecteur

E get(int index)         // vecteur[index]  0 <= index < size()
E elementAt(int index)   // get(index)

boolean add(E o)         // ajouter o comme dernier élément du vecteur avec
                         // redimensionnement si nécessaire (renvoie true)
boolean addElement(E o)   // idem add(Object)
add(int index, E o)       // vecteur[index] = o et 0 <= index <= size()
set(int index, E o)       // vecteur[index] = o et 0 <= index < size()
```

La classe java.util.Vector (suite)

```
E firstElement()        // get(0)
E lastElement()         // get(size()-1)

boolean isEmpty()       // aucun élément ?

void clear()            // supprimer tous les éléments du vecteur
void removeAllElements()        // idem clear()
boolean remove(Object o)        // supprime la première occurence
E remove(int index)     // supprimer vecteur[index] (changé ?)

boolean contains(Object o)      // vecteur contient-il o ?

int indexOf(Object o)           // premier index de o dans le vecteur
int indexOf(Object o, int i)    // ... à partir de l'indice i
int lastIndexOf(Object o)       // dernier index de o dans le vecteur
int lastIndexOf(Object o, int i)        // ... à partir de l'indice i

void setSize(int ns)    // changer la taille effective du vecteur

Object[] toArray()      // un tableau contenant les éléments du vecteur
```

Remarque : Il existe des méthodes qui manipulent une collection.

Queue

- ajoutée par Java 1.5
- implante les opérations spécifiées sur Collection
- fournit des opérations supplémentaires pour :

	lève une exception	retourne une	valeur spécifique
ajouter	add(E)	offer(E)	false
supprimer	remove	poll	null
examiner	element	peek	null

- l'élément **`null`** est généralement interdit dans une `Queue`.
- principalement une politique type FIFO (First In, First Out) mais d'autres politiques sont possibles (file avec priorité).

Map : tableau associatif

- Type générique : Map<K, V>
  - K : type des clés
  - V : type des valeurs

```
V put(K k, V v)          // ajouter v avec la clé k (ou remplacer)
V get(Object k)          // la valeur associée à la clé ou null
V remove(Object k)       // supprimer l'entrée associée à k

boolean containsKey(Object k)   // k est-elle une clé utilisée ?
boolean containsValue(Object v) // v est-elle une valeur de la table ?

Set<Map.Entry<K, V>> entySet()  // toutes les entrées de la table
Set<K>               keySet()   // l'ensemble des clés
Collection<V>        values()   // la collection des valeurs

void putAll(Map<? extends K,? extends V> m)  // ajouter les entrées de m

int size()               // nombre d'entrées dans la table
boolean isEmpty()        // la table est-elle vide ?
void clear()             // vider la table
```

Exemple d'utilisation des Map

```
1  import java.util.*;
2  public class CompteNbOccurrences {
3      /** Compter le nombre d'occurrences des chaînes de args... */
4      public static void main(String[] args) {
5          Map<String, Integer> occ = new HashMap<String, Integer>();
6          for (String s : args) {
7              int ancien = occ.containsKey(s) ? occ.get(s) : 0;
8              occ.put(s, ancien + 1);
9          }
10         System.out.println("occ = " + occ);
11         System.out.println("clés = " + occ.keySet());
12         System.out.println("valeurs = " + occ.values());
13         System.out.println("entrées = " + occ.entrySet());
14
15         // afficher chaque entrée
16         for (Map.Entry<String, Integer> e : occ.entrySet()) {
17             System.out.println(e.getKey() + " --> " + e.getValue());
18         }
19     }
20 }
```

Exemple d'utilisation des Map (exemple)

Le résultat de `java CompteNbOccurrences A B C A C D E A A D E` est :

```
occ = {D=2, E=2, A=4, B=1, C=2}
clés = [D, E, A, B, C]
valeurs = [2, 2, 4, 1, 2]
entrées = [D=2, E=2, A=4, B=1, C=2]
D --> 2
E --> 2
A --> 4
B --> 1
C --> 2
```

Question : Comment afficher les chaînes dans l'ordre ?

`Iterator` : parcourir les éléments d'une collection

Exercice 44 Comment parcourir efficacement les éléments d'une liste, qu'elle soit implantée en utilisant un tableau ou qu'elle utilise des structures chaînées.

Indications :

1. écrire une méthode qui affiche les éléments en considérant qu'il s'agit d'une liste stockant les éléments dans un tableau
2. écrire une méthode qui affiche les éléments d'une liste chaînée
3. regarder ce qu'il faut pour unifier les deux méthodes précédentes

Question : Quel est le sens de l'interface de marquage `RandomAccess` ?

L'interface `Iterator`

Objectif : Un itérateur est un objet qui permet de parcourir tous les éléments d'une collection.

```
boolean hasNext()     // reste-t-il des éléments dans la collection ?
E next()              // l'élément suivant (et avancer)
void remove()         // supprimer le dernier élément obtenu par next (optionnelle)
                      // Ne peut pas être utilisé deux fois de suite sans next
```

Exemple générique d'utilisation :

```
Collection<Double> c = ...
Iterator<Double> it = c.iterator();
while (it.hasNext()) {
    Double élément = it.next();  // retourne l'élément courant et avance
    // manipuler élément...
}
```

Choix de conception : Les itérateurs sont dits *fail-fast*. Si la collection est modifiée pendant qu'un itérateur la traverse, une exception est levée :

`ConcurrentModificationException`

Exemple d'utilisation : supprimer les éléments pairs d'une liste d'entiers

```
 1  import java.util.*;
 2  public class SupprimerEntiersPairs {
 3      public static void main(String[] args) {
 4          List<Integer> liste = new ArrayList<Integer>();
 5          Collections.addAll(liste, 2, 3, 6, 9, 1, 4, 7);
 6          System.out.println("liste = " + liste);
 7          // supprimer les entiers pairs
 8          Iterator<Integer> it = liste.iterator();
 9          while (it.hasNext()) {
10              Integer entier = it.next();
11              if (entier % 2 == 0) {
12                  it.remove();
13              }
14          }
15          System.out.println("liste = " + liste);
16      }
17  }
```

```
liste = [2, 3, 6, 9, 1, 4, 7]
liste = [3, 9, 1, 7]
```

Interface `java.lang.Iterable<E>` et `foreach`

```
public interface Iterable<E> {
    Iterator<E> iterator();
}
```

Intérêt : `foreach` peut être utilisé sur tout objet de type `Iterable`.

```
Iterable<E> collection = ...
for (E o : collection) {
    faire(o);
}
```

Ceci est équivalent à (facilité syntaxique) :

```
Iterable<E> collection = ...
Iterator<E> it = collection.iterator();
while (it.hasNext()) {
    E o = it.next();
    faire(o);
}
```

Remarque : On ne peut pas utiliser `remove()` avec un `foreach`.

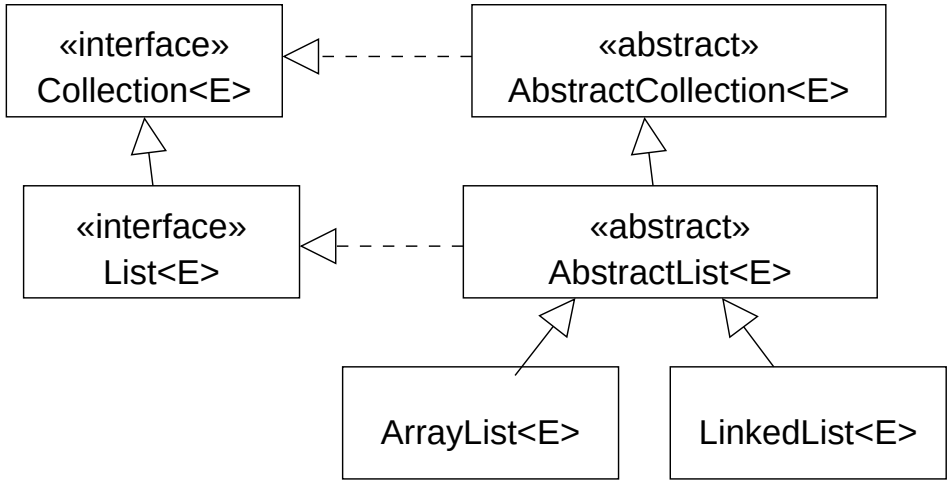
Principales réalisations

Interface	**Réalisation**				
	table de hachage	tableau	arbre	liste chaînée	liste chaînée + table hachage
Set	HashSet		TreeSet		LinkedHashSet
List		ArrayList		LinkedList	
Queue		ArrayDeque		LinkedList	
Deque		ArrayDeque			
Map	HashMap		TreeMap		LinkedHashMap

– Il y en a d'autres ! En particulier dans le paquetage `java.util.concurrent`.
– Dans `LinkedHashMap` et `LinkedHashSet`, la liste conserve l'ordre d'insertion des éléments (utilisée lors d'un parcours)

Les classes abstraites

– **Objectif :** Factoriser le code commun à plusieurs réalisation.
  $\Longrightarrow$ écrire plus facilement de nouvelles réalisations.



– `java.util.AbstractCollection` définit toutes les opérations de `Collection` sauf `size` et `iterator`.
  – Collection concrète non modifiable : définir seulement `size` et `iterator`
  – Collection concrète modifiable : définir aussi `add` (et `remove` sur l'iterator).
– En réalité, `LinkedList` n'hérite pas directement de `AbstractList`.

Les algorithmes : la classe Collections

Classe *utilitaire* qui contient des méthodes pour :

- trier les éléments d'une collection
  - rapide (en $n \log(n)$)
  - stable (l'ordre est conservé entre les éléments égaux)
- mélanger les éléments d'une collection
- manipulation des données :
  - *reverse :* inverser l'ordre des éléments d'une List
  - *fill :* remplacer tous les éléments d'une List par une valeur
  - *copy :* les éléments d'une liste source vers une liste destination
  - *swap :* permuter les éléments de deux listes
  - *addAll :* ajouter des éléments à une collection
- Chercher des éléments (*binarySearch*), nécessite une relation d'ordre
- Compter le nombre d'occurrences d'un élément (*frequency*) et vérifier si deux collections sont disjointes (*disjoint*)
- Trouver le min et le max (nécessite une relation d'ordre).

Remarque : Voir l'interface Comparator pour les relations d'ordre.

Les entrées/sorties – Motivation

Entrées/sorties : communication d'un programme avec son environnement

Exemples d'entrées :

– clavier, souris, joystick
– scanner, caméra, etc.
– lecture d'un fichier sur disque
– réception d'une page web depuis un serveur distant
– ...

Exemples de sorties :

– affichage sur un écran
– écriture d'un fichier sur un disque local
– envoi d'une requête à un serveur
– envoi d'une commande à un robot
– impression d'un document vers un fax, une imprimante, etc.

Autres difficultés

- **Diversité des systèmes d'exploitation**
- **Fichiers de natures différentes :**
  - texte : code source, script, configuration, courrier...
  - binaire : exécutables, fichiers compressés, etc.
  - spéciaux : /dev/ (périphériques)
  - répertoires : contient des références à d'autres fichiers
  - liens symboliques : autre accès à un même fichier
- **Différents codages (fichier texte) :**
  - latin1, utf8, ASCII, etc.
  - un caractère codé sur 1 octet, 2 octets, 4 octets, voir un nombre variable
  - recode : 281 codages pris en charge

Solution : Abstraction des E/S

- **Constatations :**
  - Toute E/S peut être représentée par une suite de bits
  - Ceux-ci sont regroupés en octets (bytes)
- **Abstraction des entrées/sorties : flux (stream) :**
  - accès séquentiel aux données
  - flux d'entrée : InputStream
  - flux de sortie : OutputStream
- **Abstraction des opérations possibles**
  - opérations d'entrée (lecture : read)
  - opérations de sortie (écriture : write)
- **Concrétisation des flux :** Fichiers, Tableau, Pipe, etc.

Les entrées/sorties en Java

L'API d'entrée/sortie est définie dans le paquetage `java.io`. Elle :

– fournit une interface standard pour gérer les *flux* d'entrée/sortie ;
– libère le programmeur des détails d'implantation liés à une plateforme particulière.

Flux : Séquence ordonnée de données qui a une *source* (*input stream*) ou une *destination* (*output stream*).

Classes de base : Java propose 4 classes principales (abstraites) pour les entrées/sorties qui seront ensuite spécialisées en fonction de la nature de la source ou de la destination.

	Caractères	Octets
Entrée	`Reader`	`InputStream`
Sortie	`Writer`	`OutputStream`

La classe `InputStream`

But : Lire des octets (bytes) depuis un flux d'entrée.

```
public abstract class InputStream {
  public abstract int read() throws IOException;
    // Lire un octet renvoyé sous la forme d'un entier entre 0 et 255.
    // Retourne -1 si le flux d'entrée est terminé.  Bloquante.

  public int read(byte[] buf, int off, int len) throws IOException;
    // Lire au plus len octets et les stocker dans buf à partir de off.
    // Retourne le nombre d'octets effectivement lus (-1 si fin de flux).
    // @throws IndexOutOfBoundsException, NullPointerException...

  public int read(byte[] b) throws IOException;
    // Idem read(b, 0, b.length)

  public long skip(long n) throws IOException
    // Sauter (et supprimer) n octets du flux.
    // Retourne le nombre d'octets effectivement sautés.

  public void close() throws IOException;
    // Fermer le flux et libérer les ressources système associées.

  public int available() throws IOException;
    // nombre d'octets disponibles (sans bloquer)
}
```

La classe `OutputStream`

But : Écrire des octets (bytes) dans un flux de sortie.

```
public abstract class OutputStream {

  public abstract void write(int b) throws IOException;
    // Écrire b dans ce flux (seuls les 8 bits de poids faible).

  public void write(byte[] buf, int off, int len) throws IOException;
    // Écrire len octets de buf[off] à buf[off+len-1] dans ce flux.
    // @throws IndexOutOfBoundsException, NullPointerException...

  public void write(byte[] b) throws IOException;
    // Idem write(b, 0, b.length)

  public void flush() throws IOException
    // Vider ce flux.
    // Si des octets ont été bufférisés, ils sont effectivement écrits.

  public void close() throws IOException;
    // Fermer le flux et libérer les ressources système associées.
}
```

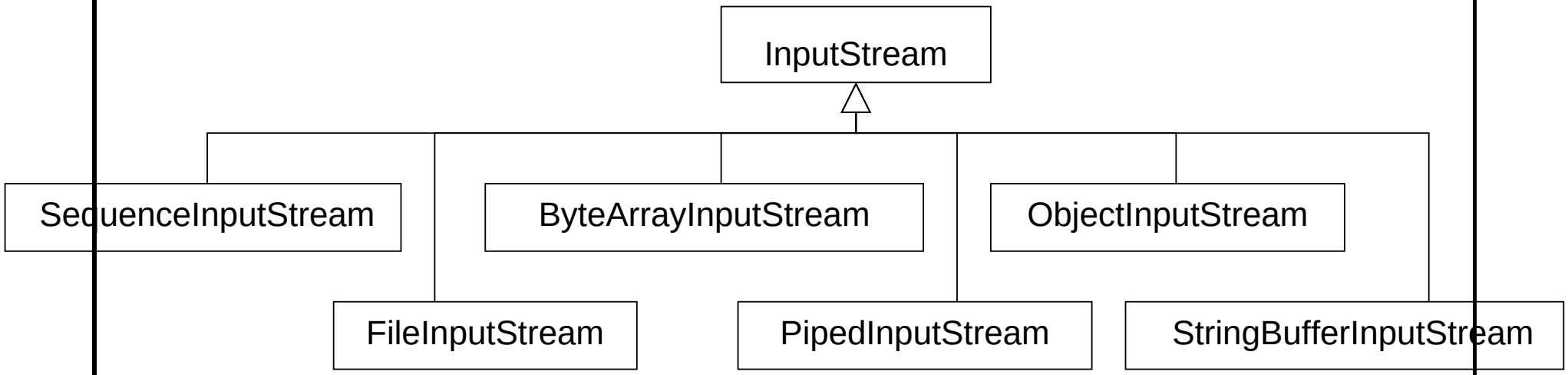
Les classes `Reader` et `Writer`

Principe : Équivalentes à `InputStream` et `OutputStream` mais avec des caractères et non des octets.

Remarque : **`int`** pour stocker 16 bits d'un caractères ou **-1** pour fin du flux.

```
public abstract class Reader {
  public int read() throws IOException;
  public abstract int read(char[] buf, int off, int len) throws IOException;
  public int read(char[] b) throws IOException;
  public long skip(long n) throws IOException
  public abstract void close() throws IOException;
  public boolean ready() throws IOException;    // prêt à être lu ?
}
public abstract class Writer {
  public void write(int b) throws IOException;
  public abstract void write(char[] buf, int off, int len) throws IOException;
  public void write(char[] b) throws IOException;
  public void write(String str) throws IOException;
  public void write(String str, int off, int len) throws IOException;
  public void flush() throws IOException
  public abstract void close() throws IOException;
}
```

Concrétisations de `InputStream`

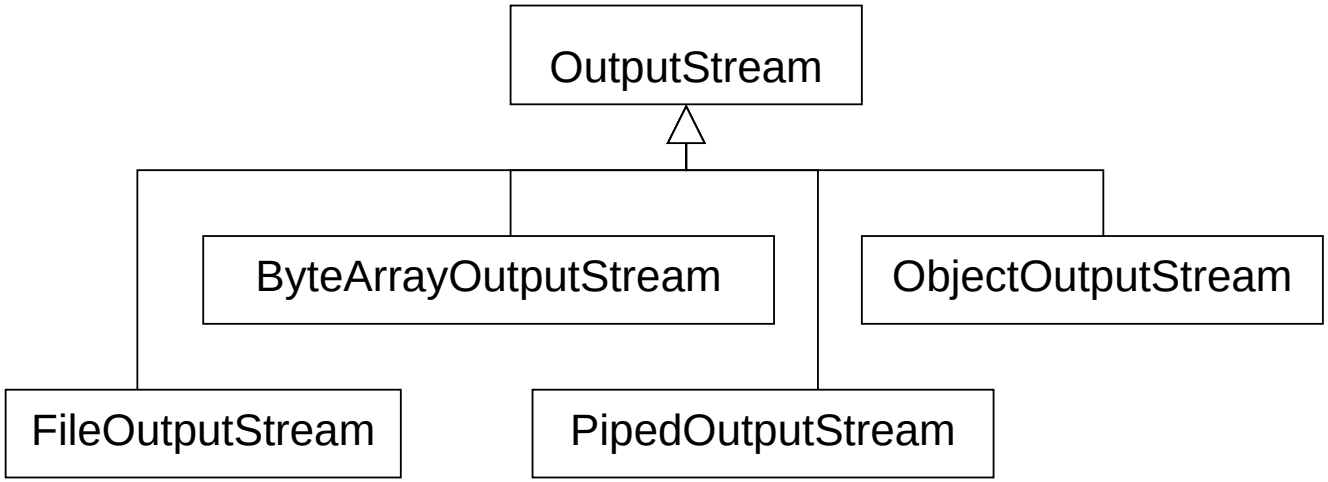


Principe : une sous-classe de `InputStream`...

– doit définir la méthode `read(byte)` ;

– devrait redéfinir `read(byte[], int, int)` pour en donner une version plus efficace

Concrétisations de `OutputStream`



Principe : Une sous-classe de `OutputStream`...

– doit définir la méthode `write(`**`byte`**`)` ;

– devrait redéfinir `write(`**`byte`**`[], `**`int`**`, `**`int`**`)` pour en donner une version plus efficace

Concrétisations de ces classes abstraites

- **File* :** Flux sur des fichiers
  - Constructeur avec le nom du fichier, `File` ou `FileDescriptor`
  - Peut lever les exceptions :

```
FileNotFoundException   // le fichier n'existe pas
SecurityException       // pas de droit en lecture/écriture
```

- **ByteArray* :** Flux dans un tableau d'octets
- **Object* :** Flux d'objets (sérialisation)
- **Piped* :** Flux sur des tubes (connexion entre threads)
- **Mais aussi :**
  - **StringBufferInputStream :** Flux vers des chaînes de caractères
  - **SequenceInputStream :** Lecture depuis plusieurs flux successivement

Exemple : Copier un fichier (version 1)

```
public static void copier(String destination, String source)
    throws IOException
{
    FileInputStream in = new FileInputStream(source);
    FileOutputStream out = new FileOutputStream(destination);
    int c = in.read();
    while (c != -1) {
        out.write(c);
        c = in.read();
    }
    in.close();
    out.close();
}
```

Exemple : Copier un fichier (version 2)

```
public static void copier2(String destination, String source)
    throws IOException
{
    FileInputStream in = new FileInputStream(source);
    FileOutputStream out = new FileOutputStream(destination);
    byte tampon[] = new byte[256];
    int nb; // nombre d'octets lus
    while ((nb = in.read(tampon)) > 0) {
        out.write(tampon, 0, nb);
    }
    in.close();
    out.close();
}
```

La classe java.io.File

But : Représentation abstraite des chemins d'accès aux fichiers/répertoires

Attention : Ne permet ni de lire, ni d'écrire le contenu d'un fichier !

```
public class File implements Comparable<File> {
  File(String nomChemin)
  File(File parent, String fils)
  File(String cheminParent, String fils)
  File(URI uri)

  // droits d'accès (1.6)
  boolean canExecute()
  boolean canRead()
  boolean canWrite()
  boolean setWritable(boolean writable, boolean ownerOnly)
  boolean setWritable(boolean writable) // setWritable(writable, true)
  ... idem pour setExecutable, setReadable

  // le nom du chemin
  String getName()      // équivalent de basename
  String getParent()    // équivalent de dirname
  String getPath()      // ...
  String getAbsolutePath()      // le chemin absolu correspondant
```

```
String getCanonicalPath()     // absolu et unique
File getAbsoluteFile()        // ce fichier avec un chemin absolu
File getCanonicalFile()       // ce fichier avec un chemin canonique
URI getURI()          // URI désignant ce fichier
boolean isAbsolute()  // est un chemin absolu

// nature et caractéristiques
boolean isDirectory() // répertoire ?
boolean isFile()      // fichier ?
boolean isHidden()    // caché ?
long length()         // longueur en octet
long lastModified()   // date de dernière modification
boolean setLastModified(long)

// accès au contenu d'un répertoire
String[] list() // noms des éléments contenus ds ce répertoire (ou null)
String[] list(FilenameFilter)         // avec filtre
File[] listFiles()    // éléments contenus dans ce répertoire (ou null)
File[] listFiles(FilenameFilter)      // avec filtre
static File[] listRoots()     // liste les racines

// espace disponible
long getTotalSpace()  // taille de la partition
long getFreeSpace()   // nombre d'octets non alloués sur cette partition
long getUsableSpace() // octets disponibles sur partition pour JVM (1.6)
```

```
  // liens avec le système de gestion de fichier
  boolean exists()      // est-ce que le fichier existe ?
  boolean createNewFile() // crée un fichier avec ce nom ssi n'existe pas
  boolean delete()   // détruit le fichier correspondant
  boolean deleteOnExit()  // fichier doit être détruit quand la JVM finit
  boolean mkdir()    // créer le répertoire correspondant à ce fichier
  boolean mkdirs()   // ... y compris les répertoires parents inexistants
  boolean renameTo(File dest)   // dépendant de la plate-forme

  // création de nom de fichiers temporaires
  static File createTempFile(String prefix, String suffix, File directory)
  static File createTempFile(String prefix, String suffix)
}
```

Exemple d'utilisation de File

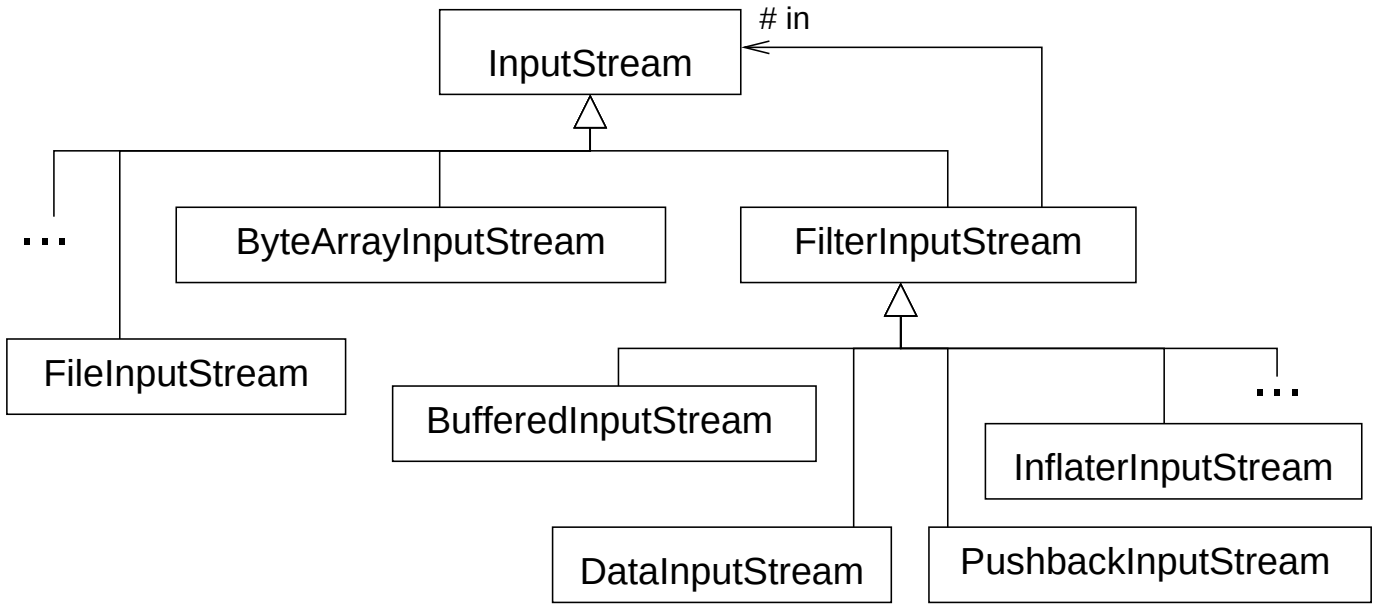
But : afficher les fichiers et le contenu des répertoires récursivement

```
1  import java.io.File;
2
3  public class Lister {
4      public static void lister(File file) {
5          System.out.print(file.getName());
6          if (!file.exists()) {
7              System.out.println(": fichier ou répertoire inexistant !");
8          } else if (file.isDirectory()) {
9              System.out.println(":");
10             lister(file, file.list());
11             System.out.println();
12         }
13         else {
14             if (file.canExecute()) {
15                 System.out.print("*");
16             }
17             System.out.println();
18         }
19     }
```

```
20
21      public static void lister(File parent, String[] noms) {
22          for (String nom: noms) {
23              lister(new File(parent, nom));
24          }
25      }
26
27      public static void main(String[] args) {
28          lister(null, args);
29      }
30  }
```

Filtres : FilterInputStream et FilterOutputStream

Principe : Ajouter de nouvelles fonctionnalités à des flux existants




```
public class FilterInputStream {
  protected InputStream in;     // le flux filtré (décoré)
  protected FilterInputStream(InputStream in)   // filtrer un flux existant
    // protégé ==> ne peut être appelé que depuis une sous-classe
... toutes les méthodes m de InputStream sont redirigées sur in.m
```

Remarque : Même principe pour `FilterOutputStream`

Définir un FilterInputStream

```
1  import java.io.*;
2
3  public class FlipCaseInputStream extends FilterInputStream {
4
5      public FlipCaseInputStream(InputStream in) {
6          super(in);
7      }
8
9      public int read() throws IOException {
10         int c = super.read();   // idem in.read()
11         int newC = c;
12         if (Character.isUpperCase(c)) {
13             newC = Character.toLowerCase(c);
14         } else if (Character.isLowerCase(c)) {
15             newC = Character.toUpperCase(c);
16         }
17         return newC;
18     }
19
20     // ...
21     // Définir aussi les deux autres méthodes read !  Pourquoi ?
22
23 }
```

Définir un FilterInputStream : Utilisation

```
1  import java.io.*;
2
3  public class TestFlipCaseInputStream {
4
5      public static void afficher(InputStream in) throws IOException {
6          int c;
7          while ((c = in.read()) != -1) {
8              System.out.print((char) c);
9          }
10     }
11
12     public static void main(String[] args) throws IOException {
13         InputStream inStream = new FlipCaseInputStream(
14                 new FileInputStream(args[0]));
15         afficher(inStream);
16         inStream.close();
17     }
18
19 }
```

Principaux filtres

- **Buffered* :** Ajouter la bufferisation sur un flux existant
  - Les informations ne sont pas directement écrites dans le flux
  - En entrée : ajoute les fonctionalités `mark(int)` et `reset` sur BufferedReader, ajoute `readLine()`
  - En sortie : opération `flush()` pour forcer l'écriture dans le flux
- **PrintStream et PrintWriter :** Surcharge `print` (et `println`) pour les types primitifs et Object.
- **Data* :** Écrit les types primitifs Java de manière portable.
- **Compression de flux :**
  - Entrée : `Inflater` avec comme spécialisations GZIP, Zip, Jar
  - Sortie : `Deflater` avec comme spécialisations GZIP, Zip, Jar
- **Pushback* :** Remettre (`unread`) des éléments dans le flux d'entrée.

Exemple de combinaison de filtres

```
 1  import java.io.*;
 2  public class TestFiltres {
 3      public static void main(String[] args) throws IOException {
 4          DataOutputStream dos =
 5                  new DataOutputStream(
 6                      new BufferedOutputStream(
 7                          new FileOutputStream("/tmp/fichier.out")));
 8          dos.writeDouble(12.5);
 9          dos.writeUTF("Dupond");
10          dos.writeInt(421);
11          dos.close();
12      }
13  }
```

Exemple : Compresser un fichier (GZIP)

```
1  import java.io.*;
2  import java.util.zip.GZIPOutputStream;
3  public class GZipper {
4
5      public static void zipper(String nom) throws IOException {
6          String nomSortie = nom + ".gz";
7          GZIPOutputStream sortie = new GZIPOutputStream(
8                  new FileOutputStream(nomSortie));
9          InputStream entree = new FileInputStream(nom);
10         int c;
11         while ((c = entree.read()) != -1) {
12             sortie.write(c);
13         }
14         entree.close();
15         sortie.close();
16     }
17
18     public static void main(String[] args) throws IOException {
19         for (String nomFichier : args) {
20             zipper(nomFichier);
21         }
22     }
23 }
```

Exemple : Compresser une archive Zip

```
1  import java.io.*;
2  import java.util.zip.*;
3
4  public class Zipper {
5
6      public static void zipper(String nomArchive, String[] noms)
7                  throws IOException {
8          ZipOutputStream sortie = new ZipOutputStream(
9                  new FileOutputStream(nomArchive));
10         for (String nom: noms) {        // ajouter une entrée
11             sortie.putNextEntry(new ZipEntry(nom));
12             InputStream entree = new FileInputStream(nom);
13             int c;
14             while ((c = entree.read()) != -1) {
15                 sortie.write(c);
16             }
17             entree.close();
18             sortie.closeEntry();
19         }
20         sortie.close();
21     }
22
23     public static void main(String[] args) throws IOException {
24         zipper("/tmp/tout.zip", args);
25     }
26 }
```

Exemple : Décompresser un fichier Zip

```
 1  import java.io.*;
 2  import java.util.zip.*;
 3
 4  public class Dezipper {
 5      public static void main(String[] args) throws IOException {
 6          ZipInputStream zin = new ZipInputStream(
 7                  new FileInputStream(args[0]));
 8          ZipEntry entree = zin.getNextEntry();
 9          while (entree != null) {
10              String nomEntree = "/tmp/" + entree.getName();
11              FileOutputStream out = new FileOutputStream(nomEntree);
12              Copier.copier(out, zin);
13              out.close();
14              zin.closeEntry();
15              entree = zin.getNextEntry();
16          }
17          zin.close();
18      }
19  }
```

Les classes `InputStreamReader` et `OutputStreamWriter`

But : Ces deux classes permettent de faire le lien entre

`InputStream`/`OutputStream` et `Reader`/`Writer`.

Elles sont des spécialisations Reader/Writer.

```
public class InputStreamReader extends java.io.Reader {

    public InputStreamReader(InputStream in, String charSetName)
            throws UnsupportedEncodingException
        // Le flux d'entrée est in. charSetName est le nom du codage
        // utilisé (US-ASCII, ISO-8859-1, UTF-8...)

    public InputStreamReader(InputStream in);
        // Le flux est in avec le jeu de caractères par défaut
}
```

Signature similaire pour `OutputStream`.

Exemple :

```
    BufferedReader in
        = new BufferedReader(new InputStreamReader(System.in));
```

Compléments

La classe `Object`

En Java, si une classe n'a pas de classe parente, elle hérite implicitement de la classe Object. C'est l'ancêtre commun à toutes les classes.

Elle contient en particulier les méthodes :

- `public boolean equals(Object obj);` Égalité de `this` et `obj` (par défaut égalité des adresses). Elle a cependant le sens d'égalité logique et doit donc être redéfinie (String, etc.)
- `public String toString();` chaîne de caractères décrivant l'objet. Elle est utilisée dans print, println et l'opérateur de concaténation + par l'intermédiaire de String.valueOf(Object).
- `protected void finalize();` Méthode appelée lorsque le ramasse-miettes récupère la mémoire d'un objet.
- `protected Object clone();` Copie logique de l'objet (cf Cloneable)
- `public Class getClass();` Pour l'introspection.
- ...

L'interface Cloneable

Problème : Comment faire pour obtenir une copie physique d'un objet ?

Constatations :

– Il est logique que ce soit la classe qui donne accès à la copie.

– La classe Object définit la méthode `Object clone()` mais en **`protected`** et qui ne fait qu'une copie binaire des attributs ($\Longrightarrow$ partage des objets).

Conséquence : Le concepteur d'une classe doit décider si ses objets peuvent ou non être clonés. Dans l'affirmative, il doit :

1. Implémenter l'interface Cloneable ;
2. Redéfinir la méthode clone en la déclarant **`public`** et en donnant un code qui réalise effectivement la copie.

Remarque : Cloneable est une *interface de marquage* (le concepteur montre qu'il a défini correctement clone()) $\neq$ interface classique.

```
interface Cloneable { } // Cloneable ne déclare rien !!!
```

L'interface Cloneable : la classe Point

```
public class Point implements Cloneable {
  private double x, y;    // coordonnées cartésiennes
  ...
  public Object clone() {
    try {
      return super.clone();    // une copie superficielle suffit !
    } catch (CloneNotSupportedException e) {
      return null; // ne peut pas se produire car implements Cloneable
    }
  }
}
```

Remarque : Implémenter Cloneable autorise à faire super.clone() !

Attention : Lors d'un appel à clone(), aucun constructeur n'est appelé !

Remarque : **`try/catch`** correspond à la notion d'exception (cf Exceptions). Ici, l'exception traduit la tentative de « cloner » un objet qui n'implante pas l'interface Cloneable.

L'interface Cloneable : la classe Segment

```
/** Un segment est <strong>composé</strong> de deux points extrémités */
public class Segment implements Cloneable {
  private Point extrémité1, extrémité2;

  public Segment(Point ext1, Point ext2) {
      extrémité1 = (Point) ext1.clone();    // car composition
      extrémité2 = (Point) ext2.clone();
  }

  public Object clone() {
    try {
      Segment s = (Segment) super.clone();    // copie superficielle
      s.extrémité1 = (Point) extrémité1.clone();  // copie de l'extrémité1
      s.extrémité2 = (Point) extrémité2.clone();  // copie de l'extrémité2
      return s;
    }
    catch (CloneNotSupportedException e) {
      return null;
    }
  }
}
```

Conclusions

Idées clés

- Techniques de décomposition et d'architecture.
- Architectures logicielles flexibles et décentralisées (ni centre, ni sommet).
- Construction de logiciels par combinaison ascendante (*bottom-up*) d'éléments logiciels réutilisables.
- Éléments partiellement affinés décrivant des comportements communs.
- Spécification précise de chaque composant (contrat logiciel).
- Ouverture sur le monde extérieur : routines externes, empaquetage d'outils existants.
- BIBLIOTHÈQUES

Qu’est ce que la technologie objet ?

– Un principe d’architecture :

  MODULE = TYPE (CLASSE)

– Une discipline épistémologique :

  L’ABSTRACTION

– Une règle de classification :

  L’HÉRITAGE (le sous-typage !)

– Une exigence de validité :

  LA CONCEPTION PAR CONTRAT

– Une obligation d’ingénieur :

  RÉUTILISABILITÉ ET EXTENSIBILITÉ

Liste des exercices

[

Index