3

Les classes fondamentales

1. Présentation des API
2. Les enveloppes des types de base
3. La classe `java.lang.Object`
   mère de toutes les classes
4. Les chaînes de caractères
5. Outils mathématiques
6. Ensembles structurés, itérateurs et comparateurs
7. Introspection

Les API

Les API (Application Programming Interface) forment l'interface de programmation, c'est-à-dire l'ensemble des classes livrées avec Java.

`java.lang`	classes de base du langage
`java.io`	entrées / sorties
`java.util`	ensemble d'outils : les classes très "util"
`java.net`	classes réseaux
`java.applet`	classes pour les appliquettes
`java.awt`	interfaces graphiques (Abstract Windowing Toolkit)

et de nombreuses autres.

Les enveloppes des types de base

`boolean`	java.lang.Boolean
`char`	java.lang.Character
`byte`	java.lang.Byte
`short`	java.lang.Short
`int`	java.lang.Integer
`long`	java.lang.Long
`float`	java.lang.Float
`double`	java.lang.Double

- Une instance de la classe enveloppe encapsule une valeur du type de base correspondant.
- Chaque classe enveloppe possède des méthodes pour extraire la valeur d'un objet. Par exemple `intValue()` renvoie un `int`. Les noms varient d'une classe à l'autre.
- Un objet enveloppant est immutable : la valeur contenue ne peut être modifiée.
- On transforme souvent une valeur en objet pour utiliser une méthode manipulant ces objets.

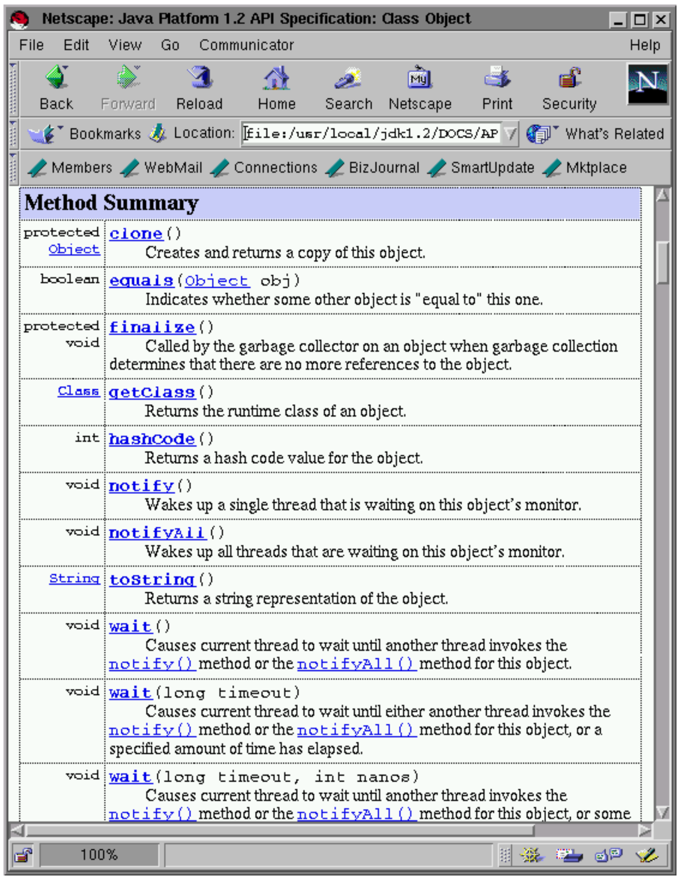
La classe `java.lang.Object`

Affichage d'un objet et hashcode

La méthode `toString()` retourne la représentation d'un objet sous forme de chaîne de caractères (par défaut le nom de la classe suivi de son *hashcode*) :

```
System.out.println(new Integer(3).toString());
//affiche 3
```

La valeur du hashcode peut être obtenue par la méthode `hashcode()` de la classe `Object`.



Method Summary

protected Object	clone() Creates and returns a copy of this object.
boolean	equals(Object obj) Indicates whether some other object is "equal to" this one.
protected void	finalize() Called by the garbage collector on an object when garbage collection determines that there are no more references to the object.
Class	getClass() Returns the runtime class of an object.
int	hashCode() Returns a hash code value for the object.
void	notify() Wakes up a single thread that is waiting on this object's monitor.
void	notifyAll() Wakes up all threads that are waiting on this object's monitor.
String	toString() Returns a string representation of the object.
void	wait() Causes current thread to wait until another thread invokes the notify() method or the notifyAll() method for this object.
void	wait(long timeout) Causes current thread to wait until either another thread invokes the notify() method or the notifyAll() method for this object, or a specified amount of time has elapsed.
void	wait(long timeout, int nanos) Causes current thread to wait until another thread invokes the notify() method or the notifyAll() method for this object, or some

Le clonage

Le clonage est la construction d'une copie d'un objet.
La classe `Object` contient une méthode `Object clone()`.

- Quand elle est appelée sur un objet d'une classe qui implémente l'interface `Cloneable`, elle crée une copie de l'objet du même type. La copie est superficielle de l'objet : les attributs de l'objet sont alors recopiés.
- Quand elle est appelée sur un objet d'une classe qui n'implémente pas l'interface `Cloneable`, elle lève l'exception `CloneNotSupportedException`.
- La class `Object` n'implémente pas l'interface `Cloneable`!

Exemple:

```
public class Point implements Cloneable {
  private int x, y;

  public Point (int x, int y) {
    this.x = x; this.y = y;
  }

  public String toString() {
    return(this.x + ", " + this.y);
  }

  public static void main(String[] args)
    throws CloneNotSupportedException
  {
    Point a = new Point(3,5);
    Point b = (Point) a.clone(); // méthode clone() de Object
    b.x = a.x + 1;
```



```
    System.out.println(a); // 3 5
    System.out.println(b); // 4 5
  }
}
```

Si on veut une classe clonable et une classe dérivée non clonable, la classe dérivée implémente `Cloneable` mais on lève une exception dans l'écriture de `clone()`.

Exemple de clonage

Le clonage par défaut est superficiel.

```
public class Pile implements Cloneable {
   int hauteur;
   int[] contenu;

   public Pile (int maxP) {
     hauteur = 0;
     contenu = new int[maxP];
   }

  public void push(int val) {
    contenu[hauteur++]=val;
  }

  public int pop() {
    return contenu[--hauteur];
  }

  public Object clone() throws CloneNotSupportedException {
    Pile nouvelObjet = (Pile) super.clone();
    nouvelObjet.contenu = (int[]) contenu.clone();
    return nouvelObjet;
  }
}
```



```
public class TestPile{
  public static void main(String[] args) {
    Pile f = new Pile(2);
    f.push(5);
    f.push(6);
    try {
      Pile g = (Pile) f.clone();
      System.out.println(g.pop());  // 6
      System.out.println(g.pop());  // 5
    } catch (CloneNotSupportedException e) {}
  }
}
```

Remarquer l'utilisation de `super.clone()` qui appelle `clone()` de `Object` crée toujours un objet du bon type. L'appel à `clone()` sur un objet d'une classe dérivée de `Pile` serait incorrect si on avait utilisé `new Pile()`.
Exemple

```
public class DPile extends Pile {
  int cout;

  public DPile (int maxP) {
    super(maxP);
    cout = 0;
  }

  public Object clone() throws CloneNotSupportedException   {
    DPile nouvelObjet = (DPile) super.clone();
    nouvelObjet.cout = cout;
    return nouvelObjet;
  }
}
```

Égalité entre objets

La méthode `equals()` de la classe `Object` détermine si deux objets sont équivalents. Par défaut deux objets sont équivalents s'ils sont accessibles par la même référence.
Une classe peut redéfinir la méthode `equals()`.

```
class Rectangle extends Forme{
  int largeur, hauteur;
  Rectangle(int largeur, int hauteur) {
    this.largeur = largeur;
    this.hauteur = hauteur;
  }
  public boolean equals(Object arg) {
    if (!(arg instanceof Rectangle))
      return false;
    Rectangle rarg = (Rectangle)arg;
    return (largeur == rarg.largeur)
      && (hauteur == rarg.hauteur);
  }
```

Remarquer que l'argument est de type `Object`. Si l'argument était `Rectangle`, la méthode serait surchargée. Elle serait alors ignorée lors d'un appel avec un argument de type `Forme` qui référence un `Rectangle`. La comparaison entre les deux rectangles serait alors incorrecte.

Les chaînes de caractères

La classe `java.lang.String` :

- La classe `String` est `final` (ne peut être dérivée).
- Elle utilise un tableau de caractères (membre privé de la classe).
- Un objet de la classe `String` ne peut être modifié. (On doit créer un nouvel objet).

```
String nom = "toto" + "tata";
System.out.println(nom.length()); // 8
System.out.println(nom.charAt(2)); // t
```

On peut construire un objet `String` à partir d'un tableau de caractères :

```
char tableau = {'t','o','t','o'};
String s = new String(tableau);
```

et inversement :

```
char[] tableau = "toto".toCharArray();
```

Conversion d'un entier en chaîne de caractère :

```
String un = String.valueOf(1); // methode statique
                               qui appelle toString()
```

et inversement :

```
int i = Integer.valueOf("12").intValue(); // ou bien :
int i = Integer.parseInt("12");
```


Comparaison des chaînes de caractères : on peut utiliser la méthode `equals()` :

```
String s = "toto";
String t = "toto";
if (s.equals(t)) ...  // true
```

La méthode `compareTo()` est l'équivalent du `strcmp()` du C.

La méthode `trim()` supprime tous les espaces blancs :

```
String s = "   toto     ";
s = s.trim();
```

La classe `java.lang.StringBuffer`

- permet de créér des buffers de caractères de taille extensible.

```
StringBuffer sb = new StringBuffer("le");
sb.append(" petit ");
sb.append("prince");
```

On récupère un `String` à partir d'un `StringBuffer` (sans recopie) :

```
String mot = sb.toString();
```

Ces classes sont sécurisées au niveau des *thread* (voir plus tard).

La classe `java.util.StringTokenizer` permet d'effectuer de l'analyse lexicale simple.

```
String texte = "le petit prince";
StringTokenizer st = new StringTokenizer(texte);
while (st.hasMoreTokens())
   { String mot = st.nextTokens();}
```

La classe `StringTokenizer` implémente l'interface `java.util.Enumeration`.
Les délimiteurs par défaut sont les espaces, retours chariot et tabulations. On peut spécifier les délimiteurs :

```
String texte = "http://www-igm.univ-mlv.fr/~beal";
StringTokenizer st = new StringTokenizer(texte,"/:~");
if (st.countTokens() < 2) ...  // mauvaise URL
String protocole = st.nextToken();
String host = st.nextToken();
String login = st.nextToken();
```

Outils mathématiques

On peut trouver des outils mathématiques dans les deux classes et le paquetage suivants :

- `java.lang.Math`
- `java.util.Random`
- `java.math` (pour le travail sur des entiers ou flottants longs)

Exemple : `int maximum = Math.max(3,4);`

Exemple : Tirer au hasard un entier entre 100 et 1000 (les deux compris).

`int maximum = 100 + (int)(Math.random()*901);`

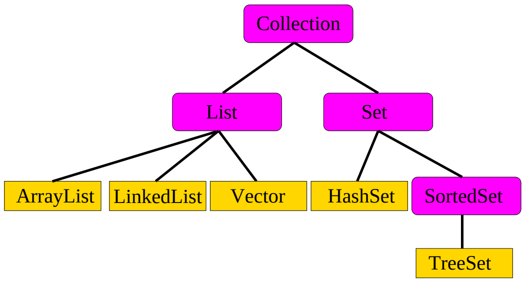
- Une instruction arithmétique sur les entiers peut lever l'exception `ArithmeticException` :

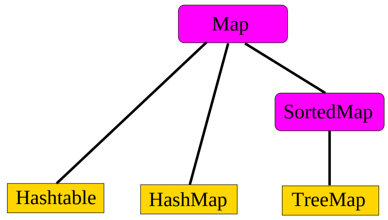
```
try { int i = 1/0;}
catch (ArithmeticException e) {...}
```

- Une instruction arithmétique sur les flottants (`double`) ne lève pas d'exception. Une expression flottante peut prendre trois valeurs particulières :

`POSITIVE_INFINITY`	1.0/0.0	
`NEGATIVE_INFINITY`	−1.0/0.0	
`NaN`	0.0/0.0	`// Not a Number`

Ensembles structurés, itérateurs et comparateurs





Regardons par exemple :

- `java.util.ArrayList`

```
$ javap java.util.ArrayList
public class java.util.ArrayList
extends java.util.AbstractList implements java.util.List,
java.lang.Cloneable, java.io.Serializable {
    public java.util.ArrayList();
    public java.util.ArrayList(int);
    public void add(int, java.lang.Object);
    public boolean add(java.lang.Object);
    public void clear();
    public java.lang.Object clone();
    public boolean contains(java.lang.Object);
    public java.lang.Object get(int);
    public int indexOf(java.lang.Object);
    public boolean isEmpty();
    public java.lang.Object remove(int);
    public java.lang.Object set(int, java.lang.Object);
    public int size();
}
```

- `java.util.Iterator`

```
$ javap java.util.Iterator
public interface java.util.Iterator {
    public abstract boolean hasNext();
    public abstract java.lang.Object next();
    public abstract void remove();
}
```


Vue d'ensemble

Deux interfaces

- `Collection` pour les ensembles d'objets,
- `Map` pour les tables, c'est-à-dire des ensembles de couples (clé, valeur), où la clé et la valeur sont des objets.

Des itérateurs sur les collections

- `Iterator` interface des itérateurs,
- `ListIterator` itérateur sur les séquences.
- `Enumeration` ancienne forme des itérateurs.

De plus, deux classes d'utilitaires

- `Collections` avec algorithmes de tri etc,
- `Arrays` algorithmes spécialisés pour les tableaux.

Les opérations principales sur une collection

- `add` pour ajouter un objet,
- `remove` pour enlever un élément,
- `contains` test d'appartenance,
- `size` pour obtenir le nombre d'éléments,
- `isEmpty` pour tester si l'ensemble est vide.

Comme les éléments sont des objets, ne pas écrire `c.add(2)` mais `c.add(new Integer(2))`.

Sous-interfaces spécialisées de `Collection`

- `List` spécifie les *séquences*, avec les méthodes
  - `int indexOf(Object o)` position de `o`
  - `Object get(int i)` retourne l'objet à la position i.
  - `Object set(int i, Object o)` remplace l'élément en position i, et retourne l'élément qui y était précédemment.
- `Set` spécifie les ensembles sans duplication.
- `SortedSet` sous-interface de `Set` pour les ensembles ordonnés.
  - `Object first()` retourne le premier objet.
  - `Object last()` retourne le dernier objet.
  - `SortedSet subset(Object initial, Object final)` retourne une référence vers le sous-ensemble des objets $\geq$ `initial` et $<$ `final`.

Opérations ensemblistes sur les collections

- `boolean containsAll(Collection c)` pour tester l'inclusion.
- `boolean addAll(Collection c)` pour la réunion.
- `boolean removeAll(Collection c)` pour la différence.
- `boolean retainAll(Collection c)` pour l'intersection.

Les trois dernières méthodes retournent `true` si elles ont modifié la collection.

Implémentation d'une collection

Pour les collections

- `ArrayList` (recommandée, par tableau), et `LinkedList` (par liste doublement chaînée) implémentent `List`.
- `Vector` est une vieille classe (JDK 1.0) "relookée" qui implémente aussi `List`. Elle a des méthodes personnelles.
- `HashSet` (recommandée) implémente `Set`.
- `TreeSet` implémente `SortedSet`.

Le choix de l'implémentation résulte de l'efficacité recherchée : par exemple, l'accès indicé est en temps constant pour les `ArrayList`, l'insertion entre deux éléments est en temps constant pour les `LinkedList`.

Discipline d'abstraction:

- les attributs, paramètres, variables locales sont déclarés avec, comme type, une interface (`List`, `Set`)
- les classes d'implémentation ne sont utilisées que par leur constructeurs.

Exemple

```
List l = new Arraylist();
Set s = new HashSet();
```


Exemple : Programme qui détecte une répétition dans les chaînes de caractères d'une ligne.

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

class TestSet {
  public static void main(String[] args) {
    Set s = new HashSet();
    for (int i = 0; i < args.length; i++)
      if (!s.add(args[i]))
        System.out.println("Déjà vu : " + args[i]);
    System.out.println(s.size() + " distincts : " + s);
  }
}
```

```
$ java TestSet a b c a b d
Déjà vu : a
Déjà vu : b
4 distincts : [d, c, b, a]
```


Itérateurs

L'interface `Iterator` définit les itérateurs.

Un *itérateur* permet de parcourir l'ensemble des éléments d'une collection.

Java 2 propose deux schémas, l'interface `Enumeration` et l'interface `Iterator`.

L'interface `java.util.Iterator` a trois méthodes

- `boolean hasNext()` qui teste si le parcours contient encore des éléments;
- `Object next()` qui retourne l'élément suivant, si un tel élément existe (et lève une exception sinon).
- `void remove()` qui supprime le dernier élément retourné par `next`.

L'interface `java.util.Enumeration` a deux méthodes

- `boolean hasMoreElements()` qui teste si l'énumération contient encore des éléments;
- `Object nextElements()` qui retourne l'élément suivant, si un tel élément existe (et une exception sinon).

```
import java.util.*;

class Personne {
  String nom;
  int age;
  public Personne(String nom, int age) {
    this.nom = nom; this.age = age;
  }
  public String toString() { return "Nom: "+nom+", age: "+age; }
```

```
}

class TestHashSet {
  public static void printAll(Collection c) {
    for (Iterator i = c.iterator(); i.hasNext(); )
      System.out.println(i.next());
  }
  public static void main(String[] args) {
    Set s = new HashSet();
    s.add(new Personne("Pierre", 23));
    s.add(new Personne("Anne", 20));
    s.add("Université");
    s.add("Marne-la-Vallée");
    printAll(s);
    Set t = (Set) ((HashSet) s).clone();
    System.out.println(s.size());
    printAll(t);
    Iterator i = t.iterator();
    while(i.hasNext())
      if (i.next() instanceof Personne) i.remove();
    printAll(t);
  }
}
```

Avec les résultats

```
$ java TestHashSet
Marne-la-Vallée
Nom: Pierre, age: 23
Nom: Anne, age: 20
Université
4
Marne-la-Vallée
Nom: Pierre, age: 23
Nom: Anne, age: 20
Université
Marne-la-Vallée
Université
```

Observer le désordre.

Détails sur les itérateurs.

- la méthode `iterator()` de la collection positionne l'itérateur au "début",
- la méthode `hasNext()` teste si l'on peut progresser,
- la méthode `next()` avance d'un pas dans la collection, et retourne l'élément *traversé*.
- la méthode `void remove()` supprime l'élément référencé par `next()`, donc pas de `remove()` sans `next()`.

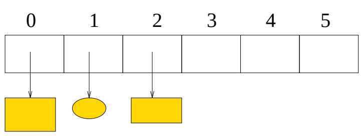
```
|A B C     iterator(), hasNext() = true
 A|B C     next() = A, hasNext() = true
 A B|C     next() = B, hasNext() = true
 A B C|    next() = C, hasNext() = false
```

```
Iterator i = c.iterator();
i.remove(); // NON
i.next();
i.next();
i.remove(); // OK
i.remove(); // NON
```


Exemple de tableau

On désire créér un tableau des références sur des objets de type `Forme` qui peuvent être `Rectangle` ou `Ellipse` (voir chapitre 1).

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

abstract class Forme {
  abstract double getAire(); // a définir
  String toStringAire() {
    return "aire = " + getAire();
  } // commune
}
class Rectangle extends Forme{ ... }
class Ellipse extends Forme { ... }

class TestForme {
  public static void main(String[] args) {
    Forme r1 = new Rectangle(6,10);
    Forme r2 = new Rectangle(5,10);
    Forme e = new Ellipse(3,5);
    List liste = new ArrayList();
    liste.add(r1);
    liste.add(r2);
    liste.add(1,e);  // on a r1, e, r2
    for (Iterator it = liste.iterator(); it.hasNext();)
      System.out.println( ((Forme) it.next()).toStringAire());
  }
}
```



Itérer sur les listes

Les listes sont des séquences. Un ***iterateur de listes*** implémente l'interface `ListIterator`. Il a des méthodes supplémentaires:

- `Object previous()` qui permet de reculer, joint à
- `boolean hasPrevious()` qui retourne vrai s'il y a un élément qui précède.
- `void add(Object)` qui ajoute l'élément juste avant l'itérateur.
- `void set(Object o)` qui substitue `o` à l'objet référencé par `next()`

```
import java.util.*;

class TestLinkedList {
  public static void printAll(Collection c) { ... }
  public static void main(String[] args) {
    List a = new LinkedList();
    a.add("A");
    a.add("B");
    a.add("C");
    printAll(a);  // A B C
    ListIterator i = a.listIterator();
    System.out.println(i.next()); // A | B C  -> A
    System.out.println(i.next()); // A B | C  -> B
    System.out.println(i.hasPrevious()); // true
    System.out.println(i.previous());  // A | B C -> B
    i.add("X");
    printAll(a);  // A X | B C
  }
}
```

Comparaison

Java exprime que les objets d'une classe sont comparables, en demandant que la classe implémente l'interface `Comparable`.

L'interface `Comparable` déclare une méthode `int compareTo(Object o)` telle que `a.compareTo(b)` est

- négatif, si `a < b`.
- nul, si `a = b`.
- positif, si `a > b`.

Exemple : comparaisons de "noms".

```
import java.util.*;

class Nom implements Comparable {
  private String nom;
  private int age;

  public Nom(String nom, int age) {
    this.nom = nom; this.age = age;
  }
  public int compareTo(Object o) {
    Nom n = (Nom) o;
    int comp = nom.compareTo(n.nom);
    return (comp !=0) ? comp : n.age - age;
  }
  public String toString() { return nom + " : " + age; }
}
```



```
class TestComparaison {
  public static void main(String[] args) {
    Collection c = new TreeSet();
    c.add(new Nom("Paul", 21));
    c.add(new Nom("Paul", 25));
    c.add(new Nom("Anne", 25));
    for (Iterator i = c.iterator(); i.hasNext(); )
      System.out.println(i.next());
  }
}
```

avec le résultat

```
$ java TestComparaison
Anne : 25
Paul : 25
Paul : 21
```


Comparateur

Un *comparateur* est un objet qui permet la comparaison. En Java, l'interface `Comparator` déclare une méthode `int compare(Object a, Object b)`

On se sert d'un comparateur

- dans un constructeur d'un ensemble ordonné.
- dans les algorithmes de tri fournis par `Collections`.

Exemple de deux comparateurs de noms:


```
class NomComparator implements Comparator {
  public int compare(Object oa, Object ob) {
    Nom a = (Nom) oa;
    Nom b = (Nom) ob;
    int comp = a.nom().compareTo(b.nom());
    if (comp == 0)
      comp = a.age() -b.age();
    return comp;
  }
}
class AgeComparator implements Comparator {
  public int compare(Object oa, Object ob) {
    Nom a = (Nom) oa;
    Nom b = (Nom) ob;
    int comp = b.age() - a.age();
    if (comp == 0)
      comp = a.nom().compareTo(b.nom());
    return comp;
  }
}
```

Une liste de noms (pour pouvoir trier sans peine).

```
public static void main(String[] args) {
  List c = new ArrayList();
  c.add(new Nom("Paul", 21));
  c.add(new Nom("Paul", 25));
  c.add(new Nom("Anne", 25));
  printAll(c);
  Collections.sort(c, new NomComparator());
  printAll(c);
  Collections.sort(c, new AgeComparator());
  printAll(c);
}
```

Et les résultats:

```
Paul : 21  Paul : 25  Anne : 25  // ordre d'insertion
Anne : 25  Paul : 21  Paul : 25  // ordre sur noms
Anne : 25  Paul : 25  Paul : 21  // ordre sur ages
```

Tables

L'interface `Map` spécifie les tables, des ensembles de couples (clé, valeur). Les clés ne peuvent être dupliquées, au plus une valeur est associée à une clé.

- `Object put(Object key, Object value)` insère l'association `(key, Object value)` dans la table et retourne l'objet précédemment associé à la clé ou bien `null`
- `boolean containsKey(Object key)` retourne vrai s'il y a un objet associé à cette clé.
- `Object get(Object key)` retourne l'objet associé à la clé dans la table.
- `Object remove(Object key)` supprime l'association de clé `key`. Retourne l'objet précédemment associé. Retourne `null` si `null` était associé ou si `key` n'est pas une clé de la table.

La sous-interface `SortedMap` spécifie les tables dont l'ensemble des ***clés*** est ordonné.

Implémentation d'une table

Pour les tables

- `HashMap` (recommandée), implémente `Map`.
- `Hashtable` est une vieille classe (JDK 1.0) "relookée" qui implémente aussi `Map`. Elle a des méthodes personnelles.
- `TreeMap` implémente `SortedMap`.

La classe `TreeMap` implémente les opérations avec des arbres rouge-noir.

Un `TreeMap` stocke les références de ces objets de telle sorte que les opérations suivantes s'exécutent en temps $O(\log(n))$:

- `boolean containsKey(Object key)`
- `Object get(Object key)`
- `Object put(Object key, Object value)`
- `Object remove(Object key)`

pourvu que l'on définisse un bon ordre. C'est `java.util.Comparator` permet de spécifier un comparateur des clés.

Formes nommées

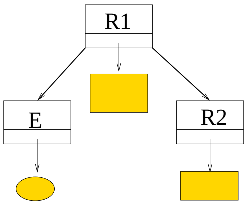
On associe un nom à chaque forme. Le nom est la *clé* de la forme.

L'interface `Forme`, et les classes `Rectangle` et `Ellipse` sont comme d'habitude.

```
import java.util.*;

public class FormeMapTest {
  public static void main(String[] args) {
    Forme r1 = new Rectangle(6,10);
    Forme r2 = new Rectangle(5,10);
    Forme e = new Ellipse(3,5);
    TreeMap arbre  = new TreeMap();
    arbre.put("R2",r2);
    arbre.put("R1",r1);
    arbre.put("E",e);
    System.out.println( ((Forme)arbre.get("R1")).toStringAire());
  }
}
```

On obtient :

```
$ java TestForme
aire = 60.0
```



Si l'on désire trier les clés en ordre inverse, on change le comparateur.

La classe `java.util.TreeMap` possède un constructeur qui permet de changer le comparateur :

`public java.util.TreeMap(java.util.Comparator);`

Le programme devient :

```
import java.util.*;
public class OppositeComparator implements Comparator {
  public int compare(Object o1, Object o2) {
    return - ((Comparable) o1).compareTo(o2);  //ordre inverse
  }
}
```

Cette méthode lève une `NullPointerException` si `o1` est `null`.
Le reste de la vérification est délégué à `compareTo`.

```
class TestForme {
  public static void main(String[] args) {
    Forme r1 = new Rectangle(6,10);
    Forme r2 = new Rectangle(5,10);
    Forme e = new Ellipse(3,5);
    Comparator c = new OppositeComparator();
    TreeMap arbre  = new TreeMap(c);
    arbre.put("R2",r2);
    arbre.put("R1",r1);
    arbre.put("E",e);
    System.out.println(arbre.firstKey() + " " + arbre.lastKey());
    // "R2" "E"
  }
}
```

Itérer dans les tables

Les tables n'ont pas d'itérateurs.
Trois méthodes permettent de *voir* une table comme un ensemble

- `keySet()` retourne l'ensemble (`Set`) des clés;
- `values()` retourne la collection des valeurs associées aux clés;
- `entrySet()` retourne l'ensemble des couples (clé, valeur);

```
Map m = ...;
Set clés = m.keySet();
Set couples = m.entrySet();
Collection valeurs = m.values();
```

On peut ensuite itérer sur ces ensembles:

```
for (Iterator i = clés.iterator(); i.hasNext(); )
  System.out.println(i.next());

for (Iterator i = valeurs.iterator(); i.hasNext(); )
  System.out.println(i.next());

for (Iterator i = couples.iterator(); i.hasNext(); ) {
  Map.Entry e = (Map.Entry) i.next();
  System.out.println(e.getKey() + " -> " + e.getValue());
```


Exemple : construction d'un index

On part d'une suite d'entrées formées d'un mot et d'un numéro de page, comme

```
22, "Java"
23, "Itérateur"
25, "Java"
25, "Map"
25, "Java"
29, "Java"
```

et on veut obtenir un "index", comme

```
Itérateur [23]
Java [22, 25, 29]
Map [25]
```

Chaque mot apparaît une fois, dans l'ordre alphabétique, et la liste des numéros correspondants et donnée en ordre croisssant, sans répétition.


```
import java.util.*;

class Index extends TreeMap {
  public void put(int page, String mot) {
    Set numeros = (Set) get(mot);
    if (numeros == null) {
      numeros = new TreeSet();
      put(mot, numeros); // la ‘‘vraie’’ méthode put
    }
    numeros.add(new Integer(page));
  }
  public void print() {
    Set clés = keySet();
    for (Iterator i = clés.iterator(); i.hasNext(); ) {
      String c = (String)i.next();
      System.out.println(c + " " + get(c));
    }
  }
}

class TestIndex {
  public static Index makeIndex() {
    Index index = new Index();
    index.put(22,"Java");
    index.put(23,"Itérateur");
    index.put(25,"Java");
    index.put(25,"Map");
    index.put(25,"Java");
    index.put(29,"Java");
    return index;
  }
  public static void main(String[] args) {
    Index index = makeIndex();
    index.print();
  }
}
```


Algorithmes

Les classes `Collections` et `Arrays` (attention au "s" final) fournissent des algorithmes dont la performance et le comportement est garanti. Toutes les méthodes sont statiques.

`Collections`:

- `min`, `max`, dans une collection d'éléments comparables;
- `sort` pour trier des listes (tri par fusion);

  ```
  List a;
  ...
  Collections.sort(a);
  ```

- `binarySearch` recherche dichotomique dans les listes ordonnées.
- `copy` copie de listes, par exemple,

  ```
  List source = ...;
  List dest;
  Collections.copy(dest, source);
  ```

- `synchronizedCollection` pour "synchroniser" une collection : elle ne peut être modifiée durant l'exécution d'une méthode.

`Arrays`:

- `binarySearch` pour la recherche dichotomique, dans les tableaux;
- `equals` pour tester l'égalité des contenus de deux tableaux, par exemple

  ```
  int[] a, b ...;
  boolean Arrays.equals(a,b);
  ```

- `sort` pour trier un tableau (quicksort), par exemple

```
int[] a;
...
Arrays.sort(a);
```

Exemple : tirage de loto.

```
import java.util.*;

class Loto {
  public static void main(String[] args) {
    List boules = new ArrayList(49);
    for (int i=0; i < 49; i++)
      boules.add(new Integer(i));
    Collections.shuffle(boules); // mélange
    List tirage = boules.subList(0,6); // les 6 premières
    Collections.sort(tirage); // tri
    System.out.println(tirage); // et les voici
  }
}
```

Résultat:

```
> java Loto
[6, 17, 24, 33, 41, 42]
> java Loto
[15, 24, 28, 41, 42, 44]
> java Loto
[27, 30, 35, 42, 44, 46]
```


Introspection

La classe `java.lang.Class` :

- permet de manipuler les classes et interfaces comme des objets;
- offre des possibilités d'introspection (exploration des méthodes et constructeurs d'une classe).

On peut ensuite récupérer un objet "méthode". Les classes de ces objets sont définies dans `java.lang.reflect` :

```
String s = "toto";
Class c = s.getClass();
interface I {}
Class c1 = I.class;
Class c2 = Class.forName("I");
Class c3 = float.class;
```

Une instance de la classe `Class` est associée à toutes les classes, interfaces, tableaux ou types primitifs.

On peut appliquer les méthodes suivantes à un objet `c` de la classe `Class`

- `getDeclaredMethods()` retourne un tableau d'objets de la classe `java.lang.reflect.Method`, les méthodes déclarées dans `c`;
- `getMethods()` retourne aussi les méthodes héritées;
- `getMethods(String, Class[] parameterTypes)` recherche une méthode en fonction de son profil.

Une méthode de la classe `Method` peut ensuite être invoquée par `invoke()`.


```
import java.lang.reflect.*;
import java.util.Date;

public class Test{
  public static void main(String[] args) throws Exception {
    Class classeDate = Class.forName("java.util.Date"); // ou "Date"
    Object maDate = classeDate.newInstance();
      //une instance de la classe Date est créée
    Method maSortie = classeDate.getMethod("toString", null);
      //retourne la methode toString() de la classe Date
    System.out.println((String) maSortie.invoke(maDate, null));
      //appel de toString() sur maDate
    Date aujourdhui = new Date();
    System.out.println(aujourdhui);
    System.out.println(maDate);
  }
}
```

On obtient :

```
> java Test
Thu Sep 09 14:54:09 CEST 1999
Thu Sep 09 14:54:09 CEST 1999
Thu Sep 09 14:54:09 CEST 1999
```


Le chargement de classes

Un *chargeur de classes* (*classloader*) est une instance d'une sous-classe de la classe abstraite `java.lang.ClassLoader`. Il charge le bytecode d'une classe à partir d'un fichier `.class` et la rend accessible aux autres classes.

Principe du fonctionnement de la méthode `loadClass()` de la classe `ClassLoader` :

1. appel à `findLoadedClass()` pour voir si la classe n'est pas dejà chargée;
2. demande de chargement de la classe à un chargeur parent obtenu par `getParent()`;
3. en cas d'échec, appel de la méthode `findClass()`;
4. levée de l'exception `ClassNotFoundException` en cas de nouvel échec.

```
public Class loadClass(String name)
      throws ClassNotFoundException {
  try {
    Class c = findLoadedClass(name);
    if (c != null) return c;

    ClassLoader parent = getParent();
    try {
      c = parent.loadClass(name);
      if (c != null) return c;
    } catch (ClassNotFoundException e) {}

    c = findClass(name);
    if (c !=null) return c;
  } catch (Exception e) {
      throw new ClassNotFoundException(name);
    }
}
```

La méthode `findClass()` appelle une méthode `defineClass()` qui est la méthode de base de tout chargeur de classes. Elle

- crée une instance de la classe `Class`
- stocke la classe dans le chargeur

La signature de `defineClass()` est :

```
Class defineClass(String name,byte[] b,int off,int len)
                throws ClassFormatError
```



```
import java.io.*;

public class VerboseClassLoader extends ClassLoader{
  public VerboseClassLoader(){
    super(getSystemClassLoader());//chargeur parent en param.
  }
  public Class loadClass(String name)
    throws ClassNotFoundException {
    System.out.println("Chargement de "+ name);
    try {
      byte[] b = loadClassData(new File(name+".class"));
      return defineClass(name,b,0,b.length);
    } catch (Exception e) {
        return getParent().loadClass(name);
      }
  }
  private byte[] loadClassData(File f) throws IOException {
    FileInputStream entree = new FileInputStream(f);
    int length = (int)f.length();
    int offset = 0;
    int nb;
    byte[] tableau = new byte[length];
    while (length != 0) {
      nb = entree.read(tableau,offset,length);
      length -= nb;
      offset += nb;
    }
    return tableau;
  }
```



```
  public static void main(String[] args) throws Exception{
    VerboseClassLoader cl = new VerboseClassLoader();
    Class clazz = cl.loadClass("A");
    Object o = clazz.newInstance();
    System.out.print("Dans VerboseClassLoader : ");
    if (o instanceof A)
      System.out.println("o instance de A");
    else
      System.out.println("o n'est pas instance de A");
    System.out.println((o.getClass()).getClassLoader());
    A o2 = new A();
    System.out.println((o2.getClass()).getClassLoader());
  }
}
```

Étant données trois classes vides `B`,`C` et `D`, la classe `A` est :

```
public class A extends B {
  C c;
  D d;

  public A() {
    System.out.println("nouveau A()");
    d = new D();
  }

  public void inutile(){
    c = new C();
  }
}
```


Dans l'exemple précédent,

- l'appel à `newInstance()` crée un objet et charge les classes nécessaires à sa création;
- `o` et `o2` *n'appartiennent pas* à la même classe : deux classes de même nom (ici `A`) peuvent coexister dans la machine virtuelle si elles n'ont pas le même chargeur de classe. Ceci est important pour la *programmation réseau*.

On obtient :

```
> java VerboseClassLoader
Chargement de A
Chargement de B
Chargement de java.lang.Object
Chargement de java.lang.Throwable
Chargement de java.lang.System
Chargement de java.io.PrintStream
nouveau A()
Chargement de D
Dans VerboseClassLoader : o n'est pas instance de A
VerboseClassLoader@4acca8a
nouveau A()
sun.misc.Launcher$AppClassLoader@1714ca8a
```

4

La programmation concurrente

Programmation concurrente

La *programmation concurrente* est l'ensemble des mécanismes permettant l'exécution concurrente d'actions spécifiées de façon séquentielle.

En Java, deux mécanismes permettent un ordonnancement automatique des traitements :

- la concurrence entre commandes du système (processus);
- la concurrence entre processus légers de la machine virtuelle.

Processus légers

Un *processus léger* (*thread*) correspond à un fil d'exécution (une suite d'instruction en cours d'exécution). Il s'agit d'un processus créé et géré par la machine virtuelle Java.

S'il y a plusieurs processus légers :

- ils sont associés à un même programme;
- ils s'exécutent dans le même espace mémoire.

Lorsque l'on parle de processus léger, il y a trois notions bien distinctes :

- un objet représentant le code à exécuter (la cible).
  La classe de cet objet implémente l'interface `Runnable`.
- un objet qui contrôle du processus léger.
  Il est d'une classe dérivant de `Thread`.
- un fil d'exécution, c'est-à-dire la séquence d'instructions en cours d'exécution.
  C'est le code de la méthode `run()` de la cible.

Ne pas confondre `Thread` (le contrôleur) et `Runnable` (le contrôlé). C'est d'autant plus facile que `Thread` implémente `Runnable` et peut donc s'autocontrôler !

La classe `java.lang.Thread`

- Un objet de la classe `Thread` ne représente pas un processus léger mais un *objet de contrôle du processus léger*.
- Au lancement d'un programme, la machine virtuelle possède un unique processus léger qui exécute le `main()` de la classe appelée.

```
public class MaThread{
  public static void main(String[] args) throws Exception{
    Thread threadInitiale = Thread.currentThread();
    threadInitiale.setName("Thread initiale");
    System.out.println(threadInitiale);
    Thread.sleep(1000);
    System.out.println(threadInitiale.isAlive());
    Thread maThread = new Thread();
    maThread.setName("Ma thread");
    System.out.println(maThread);
    System.out.println(maThread.isAlive());
  }
}
```

On obtient à l'exécution :

```
Thread[Thread initiale,5,main]
true
Thread[Ma thread,5,main]
false
```

Chaque processus léger appartient à un groupe de processus légers (ici `main`) et a une priorité (ici 5).

Démarrage et terminaison

- **Démarrage** d'un processus léger par la méthode `start()` du thread.
- **Exécution** du processus léger par le thread qui appelle la méthode `run()` du runnable.

La méthode `run()` peut être spécifiée de deux façons différentes :

- en implémentant la méthode `run()` de l'interface `Runnable` (solution explicite).
- en redéfinissant la méthode `run()` de la classe `Thread` (solution directe).

Le processus léger se termine à la fin du `run()`.

La classe `Thread` possède sept constructeurs qui spécifient :

- le nom du processus léger (par défaut `Thread-i`);
- le groupe du processus léger (un objet de la classe `ThreadGroup`);
- la cible (target) du processus léger : un objet implémentant l'interface `Runnable` qui précise la méthode `run()` à exécuter lors du démarrage du processus léger.

Le lapin et la tortue (première version)

Classe des lapins

```
public class Lapin implements Runnable{
  public void run() {
    long t = System.currentTimeMillis(), x = t;
    for (int i = 0; i<5; i++){
      x = System.currentTimeMillis();
      System.out.println("Lapin "+i
        + " au temps "+ (x-t) + " ms.");
      try {
        Thread.sleep(300);  // il se repose peu
      } catch(InterruptedException e) {}
    }
    x = System.currentTimeMillis();
    System.out.println("Lapin est arrivé au temps "
      + (x-t) + " ms.");
  }
}
```

Classe des tortues

```
public class Tortue implements Runnable{
  public void run() {
    long t = System.currentTimeMillis(), x = t;
    for (int i = 0; i<5 ; i++){
      x = System.currentTimeMillis();
      System.out.println("Tortue "+i
        + " au temps "+ (x-t) + " ms.");
      try {
        Thread.sleep(500);   // il se repose beaucoup
      } catch(InterruptedException e) {}
    }
    x = System.currentTimeMillis();
    System.out.println("Tortue est arrivée au temps "
      + (x-t) + " ms.");
  }
}
```

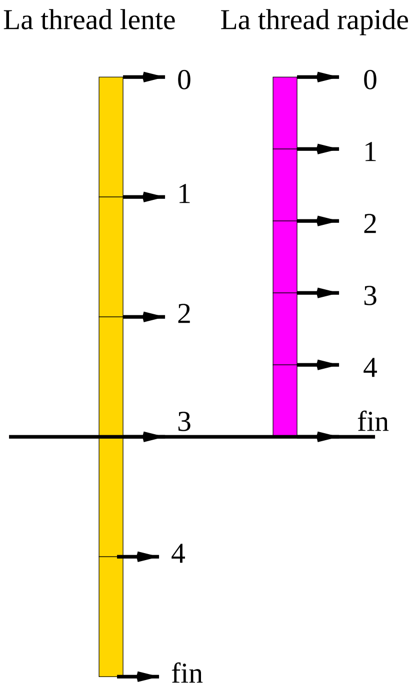

Mise en place

```
public class MesThread{
  public static void main(String[] args){
    Runnable tortue = new Tortue();
     Runnable lapin = new Lapin();

    Thread tortueThread = new Thread(tortue);
    Thread lapinThread = new Thread(lapin);

    tortueThread.start();
    lapinThread.start();
  }
}
```

On obtient :

```
Tortue 0 au temps 0 ms.
Lapin 0 au temps 0 ms.
Lapin 1 au temps 302 ms.
Tortue 1 au temps 515 ms.
Lapin 2 au temps 612 ms.
Lapin 3 au temps 922 ms.
Tortue 2 au temps 1025 ms.
Lapin 4 au temps 1232 ms.
Tortue 3 au temps 1535 ms.
Lapin est arrivé au temps 1542 ms.
Tortue 4 au temps 2045 ms.
Tortue est arrivée au temps 2555 ms.
```

Attention : Ici, les deux thread ont même priorité, donc même accès au processeur (équité). L'équité d'accès au processeur n'est pas assurée sur toutes les implémentations des machines virtuelles.



Le lapin et la tortue (deuxième version)

Classe des lapins étend Thread :

```
public class Lapin extends Thread {
  public void run() {
    // inchangé
  }
}
```

Classe des tortues étend Thread :

```
public class Tortue extends Thread {
  public void run() {
    // inchangé
  }
}
```

Mise en place

```
public class MesThread{
  public static void main(String[] args){
    Thread tortueThread = new Tortue();
    Thread lapinThread = new Lapin();

    tortueThread.start();
    lapinThread.start();
  }
}
```


Terminaison d'un processus léger

Terminaison normale : à la fin de la méthode `run()`.

On peut forcer la terminaison d'un processus léger avant la fin du `run()` en terminant l'application. L'application se termine lorsque :

- `Runtime.exit()` est appelée par l'un des processus légers;
- tous les processus légers qui n'ont pas été marqués *daemon* sont terminés.

Un processus léger peut être *user* ou *daemon*. On peut créer des processus légers *daemon* grâce à la méthode `setDaemon()` de la classe `Thread`. (Ex. `maThread.setDaemon(true);`).

Priorités d'accès au processeur

Les niveaux de priorité d'accès au processeur varient de 1 à 10. Des constantes de la classe `Thread` les définissent :

`Thread.MAX_PRIORITY`	10
`Thread.NORM_PRIORITY`	5
`Thread.MIN_PRIORITY`	1

On peut définir et consulter un niveau de priorité en appliquant une des méthodes suivantes sur l'objet de contrôle du processus léger :

- `setPriority()`
- `getPriority()`
- `setMaxPriority()`

Exclusion mutuelle

Une *opération atomique* est une opération qui ne peut être interrompue une fois qu'elle a commencé.

- Java garantit l'atomicité de l'accès et de l'affectation des variables de type primitif (*sauf* `long` *et* `double`).
- Java possède un mécanisme d'*exclusion mutuelle* entre processus légers. Il garantit l'atomicité d'exécution de morceaux de code.

Un *verrou* peut être associé à une portion de code et permet d'exclure l'accès de deux processus légers sur cette portion.

Pour cela, on *synchronise* une portion de code relativement à un objet en utilisant le mot clé `synchronized` :

- `synchronized` comme modificateur d'une méthode : s'applique au code d'une méthode relativement à l'objet courant.
- `synchronized(obj){... portion de code ...};`

Pendant l'exécution par un processus léger A d'une portion de code `synchronized`, tout autre processus léger essayant d'exécuter une portion de code `synchronized` relative au même objet est suspendu. Une fois A terminé, un seul des processus légers en attente est relancé.

Exemple : tableau

```
public class Tableau{
  private int[] tableau;

  public synchronized int somme(){
    int s = 0;
    for (int i = 0 ; i < tableau.length ; i++)
      s += tableau[i];
    return s;
  }

  public synchronized void setElem(int i, int j){
    tableau[i] = j;
  }
}
```

Pendant l'exécution d'un `x.setElem()` ou d'un `x.somme()` dans un processus `P`, tout autre processus `Q` qui essaie de faire `x.setElem()` ou `x.somme()` sur le même `x` est suspendu.

Exemple : variante

```
public class Tableau{
  private int[] tableau;

  public synchronized int somme(){
    int s = 0;
    for (int i = 0; i < tableau.length ; i++)
      s += tableau[i];
    return s;
  }

  public void setElem(int i, int j){
    if (i < 0 || i>= tableau.length)
      throw new IndexOutOfBoundsException();
    synchronized(this) {
      tableau[i] = j;
    }
  }
}
```

Dans cette version, seule l'affectation est vérouillée : un processus qui essaie d'écrire à un index hors bornes n'est pas suspendu.

Sûreté et vivacité

Quelques notions :

- *sûreté (safety)* rien de faux peut se produire. L'exclusion mutuelle règle le problème de l'accès concurrent en écriture.
- *vivacité (liveness)* tout processus peut s'exécuter.

Les diverses facettes de la non vivacité :

- famine (contention): un processus léger est empêché de s'exécuter parce que un processus plus prioritaire accapare le processeur;
- endormissement (dormancy) : un processus léger est suspendu et jamais réveillé;
- terminaison prématurée;
- interblocage (deadlock) : plusieurs processus légers s'attendent mutuellement avant de continuer.

Synchronisation entre processus légers

Java propose deux mécanismes :

- attente/notification avec `wait()` et `notify()`
  `wait()` appelé sur un objet suspend le processus léger courant qui attend une notification d'un autre processus via le moniteur de l'objet;
  `notify()` appelé sur un objet libère un processus léger en attente par `wait()` sur le moniteur du même objet.
- attente de terminaison avec `join()`
  `join()` est appelé sur l'objet de contrôle d'un processus léger dont la terminaison est attendue; le processus courant est alors interrompu jusqu'à la fin de celui-ci.

Les méthodes `wait()`, `join()` et `sleep()` peuvent être interrompues (et leur processus est alors débloqué). La méthode bloquante lève une exception `InterruptedException` qui peut être captée.

Exemple : les tourneurs et le compteur

Cinq processus légers (les `Tourneur`) veulent faire tourner un compteur (le `Compteur`) qui compte modulo 5.
Voici le compteur:

```
public class Compteur {
  private int max; // 5 dans l'exemple
  private int count = 0; // initialisation, importante !
  public Compteur (int max) {
    this.max = max;
  }
  public int getMax(){
    return max;
  }
  public int getValue(){
    return count;
  }
  public synchronized void increment(){
    count = (count +1) % max ; // ce qu'un tourneur veut faire
  }
}
```

La règle du jeu : un Tourneur ne peut faire tourner le compteur que lorsqu'il est égal à son numéro.

Voici la classe des tourneurs.

```
public class Tourneur extends Thread{
  private Compteur c;  // le compteur
  private int numero;  // numéro du tourneur
  public Tourneur(int numero, Compteur c){
    System.out.println("Tourneur "+ numero + " créé.");
    this.numero = numero;
    this.c = c;
    if (numero + 1 < c.getMax()) {
      new Tourneur(numero + 1, c);
    }
    System.out.println("Tourneur "+ numero + " démarre.");
    start();
  }

  public void run(){ ... }

  public static void main(String[] args) {
    Compteur c = new Compteur(5);
    new Tourneur(0, c);
  }
}
```

Début d'exécution

```
Tourneur 0 créé.
Tourneur 1 créé.
Tourneur 2 créé.
Tourneur 3 créé.
Tourneur 4 créé.
Tourneur 4 démarre.
...
```



```
public void run()
  try {
    for (int etape = 0 ; ; etape++) {
      System.out.println("Tourneur "+ numero
        + " in étape "+ etape);
      synchronized(c){
        while (numero != c.getValue())
          c.wait(); // suspend this
        System.out.println("Tourneur "+ numero
          + " out étape "+ etape);
        c.increment();
        c.notifyAll();  // libère les threads supendus
      }
    }
  } catch (InterruptedException e) {}
}
```

Et le résultat:

```
...
Tourneur 4 démarre.
Tourneur 4 in étape 0
Tourneur 3 démarre.
Tourneur 3 in étape 0
Tourneur 2 démarre.
Tourneur 2 in étape 0
Tourneur 1 démarre.
Tourneur 1 in étape 0
Tourneur 0 démarre.
Tourneur 0 in étape 0
Tourneur 0 out étape 0
Tourneur 1 out étape 0
Tourneur 2 out étape 0
Tourneur 3 out étape 0
Tourneur 4 out étape 0
Tourneur 4 in étape 1
Tourneur 3 in étape 1
...
```


Maître et esclave

Un esclave "travaille"

```
public class Esclave implements Runnable {
  private int result;
  public int getResult(){ return result; }
  public int durTravail(){ return 0; }
  public void run(){ result = durTravail(); }
}
```

Le maître fait travailler l'esclave, et attend, par `join`, la fin du processus esclave.

```
public class Maitre implements Runnable{
  public void run(){
    Esclave e = new Esclave();
    Thread esclave = new Thread(e);
    esclave.start();
    // fait autre chose
    try {
      esclave.join(); // attente de fin du run
    } catch (InterruptedException ex){}
    int result = e.getResult();
    System.out.println(result);
  }
}
```

Mise en place:

```
public class TestMaitre{
  public static void main(String[] args) {
    Maitre m = new Maitre();
    Thread maitre = new Thread(m);
    maitre.start();
  }
}
```


Variables locales à un processus léger

On peut simuler des variables locales à chaque processus léger. Pour cela :

- on crée un objet de la classe `ThreadLocal`;
- on y accède par `Object get()`;
- on le modifie par `void set(Object o)`.

Exemple

```
public class MaCible implements Runnable {
    public ThreadLocal v = new ThreadLocal();
    public void run() {
      v.set(new Double(Math.random()));
      System.out.println(v.get());
    }
    public static void main(String[] args){
      MaCible c = new MaCible();
      Thread t1 = new Thread(c);
      Thread t2 = new Thread(c);
      t1.start();
      t2.start();
    }
}
```

On obtient :

```
0.8955847189505597
0.43636788900311063
```