

1 Introduction

Lors de l'écriture d'une classe, il peut arriver que certains types soient inconnus. Cela est par exemple le cas lors de l'écriture de classes « conteneurs » dont le but est de stocker d'autres objets de type quelconque.

La classe des tableaux dynamiques, `ArrayList`, est une telle classe conteneur. Il est clair qu'un problème se pose lors de son écriture : quel type utiliser pour les éléments du tableau ?

Pour résoudre ce problème, Java offre la notion de généricité, présentée ci-dessous au moyen d'un exemple plus simple que celui des tableaux dynamiques : les cellules.

2 Cellule

Une **cellule** est un objet (ici immuable) dont le seul but est de contenir un, et un seul, autre objet. A première vue, les cellules ne sont pas très utiles en pratique, mais elles permettent d'illustrer facilement l'intérêt de la généricité.

2.1 Cellule de chaîne

Une cellule de chaîne est une version restreinte d'une cellule, uniquement capable de stocker une chaîne de caractères, et non pas un objet de type quelconque. La chaîne contenue dans une telle cellule lui est passée au moment de la construction, et peut s'obtenir au moyen d'une méthode nommée `get`.

La définition d'une classe nommée `CellOfString` et représentant une cellule de chaîne est triviale :

```
public final class CellOfString {
    private final String s;

    public CellOfString(String s) { this.s = s; }

    public String get() { return s; }
}
```

```
}
```

Une fois cette classe définie, on peut p.ex. l'utiliser ainsi :

```
CellofString message =  
    new CellofString("Bonne année 2020");  
System.out.println(message.get());
```

2.2 Cellule de date

Admettons maintenant que l'on ait également besoin d'une classe de cellule capable de stocker une date d'un type `Date` que l'on suppose exister. Une fois encore, la définition d'une telle classe, nommée `CellofDate`, est triviale :

```
public final class CellofDate {  
    private final Date d;  
  
    public CellofDate(Date d) { this.d = d; }  
    public Date get() { return d; }  
}
```

Ce nouveau type de cellule peut s'utiliser avec le précédent :

```
CellofString message = new CellofString("Bonne année ");  
CellofDate date = new CellofDate(Date.today());  
System.out.println(message.get() + date.get().year());
```

2.3 Généralisation

Les classes `CellofString` et `CellofDate` représentent des cellules de chaîne et de date, respectivement. Que faire si on désire également stocker de nombreux autres types dans des cellules, p.ex. des entiers, des tableaux, etc. ?

Une solution évidente serait de poursuivre sur la même voie et d'écrire une nouvelle classe cellule pour chaque cas. Cette solution, parfois nommée **spécialisation**, n'est toutefois clairement pas réaliste à grande échelle en raison de la (quasi-)duplication de code qu'elle implique.

En Java, il existe toutefois une autre solution, qui tire parti du fait que le type `Object` est un super-type de tous les autres types — sauf les types primitifs comme `int` ou `double`, nous y reviendrons. L'idée consiste à définir une classe de cellule dont l'élément a le type `Object` et de l'utiliser pour y stocker différents types d'objets comme des chaînes, des dates, etc. Examinons cette solution.

5.2 Tests d'instance générique

Limitation 2 : les tests d'instance impliquant des types génériques sont interdits. Par exemple, le code suivant est refusé :

```
<T> int printIfStringCell(Cell<T> c) {
    if (c instanceof Cell<String>) // interdit
        System.out.println(c);
}
```

5.3 Transypages génériques

Limitation 3 : les transypages impliquant des types génériques ne sont pas sûrs.

Par exemple, le code suivant ne lève pas d'exception à l'exécution, alors qu'il devrait en lever une :

```
Cell<Integer> c = new Cell<>(1);
Object o = c;
Cell<String> c2 = (Cell<String>)o;
```

Un avertissement est toutefois produit.

5.4 Exceptions génériques

Limitation 4 : une classe définissant une exception ne peut pas être générique.

En d'autres termes, aucune sous-classe de Throwable ne peut avoir de paramètres de type. Par exemple, la définition suivante est refusée :

```
class InvalidException<T> extends Exception {}
```

6 Références

- *Java Generics and Collections* de Maurice Natalin et Philip Wadler, O'Reilly Media,
- *Java Generics FAQ* d'Angelika Langer, une liste des questions fréquentes liées à la généricité Java, et leur réponse.

2.4 Cellule d'objet

La classe Cell ci-dessous représente une cellule capable de stocker un objet de type Object. Elle est bien entendu très similaire aux classes CellOfString et CellOfDate, la seule différence étant le type de l'attribut contenant l'objet, et le type de retour de la méthode get :

```
public final class Cell {
    private final Object o;

    public Cell(Object o) { this.o = o; }

    public Object get() { return o; }
}
```

Au moyen de cette unique classe de cellule, il est possible de écrire le programme d'exemple donné plus haut. Malheureusement, étant donné que la méthode get a pour type de retour Object, il faut rajouter quelques transypages qui alourdissent le code :

```
Cell message = new Cell("Bonne année");
Cell date = new Cell(Date.today());
System.out.println((String)message.get()
    + ((Date)date.get()).year());
```

En plus d'alourdir le code, ces transypages ne sont pas sûrs, dans le sens où ils peuvent échouer à l'exécution si le programmeur fait une erreur et place une chaîne au lieu d'une date dans la cellule date :

```
Cell message = new Cell("Bonne année");
Cell date = new Cell("2020");
System.out.println((String)message.get()
    + ((Date)date.get()).year());
```

Ce programme est valide mais lève l'exception ClassCastException lors de l'exécution, au moment où il tente de transypier la chaîne extraite de la cellule date en Date. Cette solution basée sur le type Object, même si elle est plus réaliste que la spécification et était utilisée dans les premières versions de Java, n'est donc pas plus satisfaisante : premièrement car elle implique l'ajout de beaucoup de transypages, et deuxièmement car ces transypages peuvent échouer à l'exécution si le programmeur commet une erreur.

3 Généricité

En raison des défauts de la spécialisation et de la solution basée sur le type Object, la notion de **généricité** (*genericity*), aussi appelée **polymorphisme paramétrique** (*parametric polymorphism*) a été introduite dans la version 5 de Java.

Au moyen de la généricité, il est possible de définir une cellule *générique*, c'est-à-dire capable de contenir un élément d'un type arbitraire, sans devoir faire de transtypages pour autant.

3.1 Cellule générique

Une classe pour les cellules générique (d'un type arbitraire) peut se définir ainsi :

```
public final class Cell<E> {
    private final E e;

    public Cell(E e) { this.e = e; }
    public E get() { return e; }
}
```

Cette classe est **générique**, et E est son **paramètre de type**. Il s'agit d'une variable (de type !) représentant le type de l'élément de la cellule. Dans le corps de la classe, E peut s'utiliser comme n'importe quel autre type—ou presque, comme nous le verrons plus loin.

Pour utiliser un type générique tel que Cell, il faut spécifier le type concret à utiliser pour son paramètre de type, comme dans les exemples suivants :

```
Cell<String>          // lire: cell of string
Cell<Date>            // lire: cell of date
Cell<Cell<String>>    // lire: cell of cell of string
```

On appelle ces types des **instanciations** du type générique Cell.

Contrairement aux cellules basées sur Object, les cellules génériques n'impliquent aucun transtypage :

```
Cell<String> message = new Cell<String>("Bonne année ");
Cell<Date> date = new Cell<Date>(Date.today());
System.out.println(message.get() + date.get().year());
```

et ne comportent pas les mêmes risques, le programme ci-dessous étant simplement refusé :

```
Cell<String> message = new Cell<String>("Bonne année ");
Cell<Date> date = new Cell<Date>("2020"); // interdit !
System.out.println(message.get() + date.get().year());
```

A noter que l'exemple plus haut peut encore être allégé, puisque les paramètres de type dans un énoncé new sont optionnels. S'ils sont omis, ils sont automatiquement inférés (c-à-d calculés) par Java. L'exemple peut donc être réécrit ainsi :

```
Cell<String> message = new Cell<>("Bonne année ");
Cell<Date> date = new Cell<>(Date.today());
```

```
public final class Cell<E extends Number> {
    // ... comme avant
}
```

Une fois cette borne ajoutée, la méthode `getInverse` est acceptée. Bien entendu, cela a un coût : il n'est désormais possible d'instancier le type `Cell` qu'avec des sous-types de `Number`, et un type comme `Cell<String>` est maintenant refusé.

5 Limitations

Pour des raisons historiques, la généricité en Java possède les limitations suivantes :

1. la création de tableaux dont les éléments ont un type générique est interdite,
2. les tests d'instance impliquant des types génériques sont interdits,
3. les transtypages (*casts*) sur des types génériques ne sont pas sûrs, c-à-d qu'ils produisent un avertissement lors de la compilation et un résultat éventuellement incorrect à l'exécution,
4. la définition d'exceptions génériques est interdite.

Ces différentes limitations sont illustrées au moyen d'exemples ci-dessous.

5.1 Tableaux génériques

Limitation 1 : la création de tableaux dont les éléments ont un type générique est interdite.

Par exemple, le code suivant est invalide :

```
static <T> T[] newArray(T x) {
    return new T[]{ x }; // interdit
}
```

Attention : seule la *création* (via `new`) de tableaux d'éléments génériques est interdite. Il est tout à fait possible de *déclarer* un tableau de type générique.

Bien entendu, les tableaux dynamiques (`ArrayList`) étant une classe générique tout à fait normale, ils ne souffrent pas de cette limitation. Seuls les tableaux primitifs du langage sont affectés.

une classe d'emballage pour les sept autres types primitifs (Boolean pour boolean, Character pour char, Double pour double, etc.) Toutes ces classes héritent d'une

super-classe abstraite commune, Number.

Bien entendu, lorsqu'on ressort le valeur emballée de la cellule, il faut la **déballer** (*unwrap* ou *unwrap* en anglais) avant de pouvoir l'utiliser. Dans le cas des entiers, cela se fait au moyen de la méthode `intValue` de la classe `Integer` :

```
Cell<Integer> c = new Cell<>(new Integer(1));
int succ = c.get().intValue() + 1;
```

Des méthodes de débailage similaires existent dans toutes les classes d'emballage. L'emballage et le débailage manuels étant lourds à l'usage, le code nécessaire est généré automatiquement par Java. On nomme cela l'**emballage automatique** (*autoboxing*). L'exemple précédent peut donc également s'écrire ainsi :

```
Cell<Integer> c = new Cell<>(1);
int succ = c.get() + 1;
```

et est automatiquement transformé afin que l'entier 1 soit emballé avant d'être passés au constructeur puis débailé avant l'addition.

4.3 Bornes

Admettons que toutes les cellules manipulées par un programme contiennent une instance d'une sous-classe de `Number`, p.ex. `Integer`, `Double`, etc. Il devrait alors être possible d'écrire une méthode tirant parti de cela, comme la méthode `getInverse` ci-dessous, qui retourne l'inverse de la valeur stockée dans la cellule :

```
public final class Cell<E> {
    private final E e;
    // ... comme avant
    public double getInverse() {
        return 1.0 / e.doubleValue();
    }
}
```

Malheureusement, cette méthode est refusée par Java ! En effet, appeler `doubleValue` sur l'objet `e` n'est valide que si celui-ci est une instance d'une sous-classe de `Number`. Or comme il a le type `E`, et que celui-ci peut-être quelconque (p.ex. `String`), l'appel n'est clairement pas valide dans le cas général. Il faudrait donc avoir la possibilité de contraindre le paramètre de type `E`, de manière à garantir que l'objet `e` est une instance d'une sous-classe de `Number`.

Heureusement, Java offre une telle possibilité, que l'on nomme une **borne supérieure**. La définition de la classe `Cell` ci-dessus peut être modifiée pour ajouter une telle borne à son paramètre de type `E`, le forçant à être une sous-classe de `Number` :

```
System.out.println(message.get() + date.get().year());
```

Attention, lorsqu'on omet ainsi les paramètres de type, il est néanmoins obligatoire de placer une paire de crochets vide (`<>`) après le nom du constructeur. En raison de son apparence, cette paire de crochets vide est souvent appelée le **diamant** (*diamond*).

4 Paire générique

Considérons maintenant un cas à peine plus complexe que celui de la cellule en essayant d'écrire une classe représentant une paire de valeurs (c-à-d une cellule à deux éléments). Bien entendu, ces valeurs doivent être de type quelconque ! Une première tentative pourrait ressembler à ceci :

```
public final class Pair<E> {
    private E fst, snd; // fst = first, snd = second
    public Pair(E fst, E snd) {
        this.fst = fst;
        this.snd = snd;
    }
    public E fst() { return fst; }
    public E snd() { return snd; }
}
```

Cette première version est toutefois trop contraignante, car elle force les deux éléments de la paire à avoir le même type. Afin de les autoriser à avoir chacun un type différent, il suffit d'ajouter un second paramètre de type à la classe :

```
public final class Pair<F, S> {
    private final F fst;
    private final S snd;
    public Pair(F fst, S snd) {
        this.fst = fst;
        this.snd = snd;
    }
    public F fst() { return fst; }
    public S snd() { return snd; }
}
```

(Pour clarifier leur signification, ces deux paramètres de type ont été nommés `F` et `S`, pour *first* et *second*.) Au même titre qu'une méthode peut avoir un nombre quelconque de paramètres (de valeur), une classe peut avoir un nombre quelconque de paramètres (de type).

4.1 Méthode générique

Admettons que l'on désire maintenant ajouter une méthode `pairWith` à `Cell` permettant d'obtenir une paire dont le premier élément est celui de la cellule, et le second lui est passé en argument.

```
public final class Cell<E> {
    private final E e;
    // ... comme avant
    public Pair<E, XXX> pairWith(XXX s) {
        return new Pair<>(e, s);
    }
}
```

Quel type utiliser à la place de `XXX` pour le paramètre de `pairWith`?
Une première idée serait d'utiliser le paramètre de type `E` :

```
public final class Cell<E> {
    private final E e;
    // ... comme avant
    public Pair<E, E> pairWith(E s) {
        return new Pair<>(e, s);
    }
}
```

Cela est toutefois bien trop limitatif, car on ne peut ainsi créer que des paires dont le second élément a le même type que celui de la cellule...

Une deuxième idée serait d'ajouter un second paramètre de type à la classe `Cell` :

```
public final class Cell<E,S> {
    private final E e;
    // ... comme avant
    public Pair<E, S> pairWith(S s) {
        return new Pair<>(e, s);
    }
}
```

Mais il s'agit d'une mauvaise solution pour plusieurs raisons, entre autres parce qu'elle associe le paramètre de type `S` à la classe `Cell`, alors qu'il appartient clairement à la méthode `pairWith`.

La bonne solution consiste à associer le paramètre de type `S` à la méthode `pairWith`, ce qui peut se faire en Java. Attention toutefois, la syntaxe est assez surprenante !

```
public final class Cell<E> {
    private final E e;
    // ... comme avant
    public <S> Pair<E, S> pairWith(S s) {
```

```
        return new Pair<>(e, s);
    }
}
```

Une méthode qui prend un ou plusieurs paramètres de types, comme `pairWith`, est dite **méthode générique** (*generic method*).

Pour appeler une méthode générique, il faut logiquement spécifier les types à utiliser pour ses paramètres de type. Là aussi, la syntaxe est surprenante au premier abord — même si elle est cohérente avec la syntaxe de définition des méthodes génériques. Ainsi, la méthode `pairWith` peut s'utiliser comme suit :

```
Cell<String> message = new Cell<>("Bonne année ");
Pair<String, Date> pair =
    message.<Date>pairWith(Date.today());
System.out.println(pair.fst() + pair.snd().year());
```

Heureusement, la valeur des paramètres de type des méthodes générique peut presque toujours être inférée, et on peut donc simplement écrire :

```
Cell<String> message = new Cell<>("Bonne année ");
Pair<String, Date> pair =
    message.pairWith(Date.today());
System.out.println(pair.fst() + pair.snd().year());
```

Notez que dans ce cas, il ne faut pas mettre le diamant (`<>`), car cela est incorrect. La raison pour laquelle le diamant est nécessaire dans les énoncés `new` mais interdit dans les appels de méthodes génériques sera examinée dans une leçon ultérieure.

4.2 Types primitifs

Pour mémoire, Java possède huit types dits **primitifs** (*primitive types*) dont les valeurs ne sont pas des objets : `boolean`, `byte`, `short`, `int`, `long`, `char`, `float` et `double`.

Malheureusement, ces types primitifs ne peuvent pas être utilisés comme paramètres de type d'un type générique. Dès lors, le code suivant est erroné :

```
Cell<int> s = new Cell<>(1); // interdit !
```

Que faire si l'on désire par exemple créer une cellule contenant un entier (de type `int`) ?

Une solution consiste à stocker l'entier dans un objet de type `java.lang.Integer`, et créer une cellule de ce type. L'exemple devient :

```
Cell<Integer> c = new Cell<>(new Integer(1));
```

(Notez au passage que la classe `Integer` est elle-même une espèce de cellule, dont l'élément a le type `int`, ce qui montre que les cellules ont leur utilité !)

On dit alors que l'entier a été **emballé** (*wrapped* ou *boxed* en anglais) dans un objet de type `Integer`. En plus de la classe `Integer`, le paquetage `java.lang` contient