

Généricité avancée

Michel Schinz

2020-05-11

1 Introduction

Les bases de la généricité en Java ont été introduites lors d'une leçon précédente. Il reste néanmoins trois aspects de la généricité à présenter : les bornes, les jokers et les types bruts. Avant de pouvoir les présenter, il importe toutefois d'examiner en détail la notion de sous-typage, cruciale à leur compréhension.

2 Sous-typage

En Java, chaque classe, énumération et interface définit un type, et ces types sont liés entre eux par une relation de sous-typage. Cette relation de sous-typage est déterminée par la manière dont les classes et interfaces sont liées entre elles : lorsqu'une classe hérite d'une autre, son type est sous-type de celui de sa super-classe, et il en va de même pour les interfaces ; de plus, lorsqu'une classe implémente une interface, son type est sous-type de celui de l'interface.

Par exemple, le type `String` est un sous-type du type `Object` car la classe `String` hérite de la classe `Object`. De manière similaire, le type `Number` est un sous-type du type `Serializable` car la classe `Number` implémente l'interface `Serializable`.

Pour mémoire, le sous-typage est important en raison du **polymorphisme d'inclusion**, qui permet de substituer à une valeur d'un type T_1 donné une valeur d'un autre type T_2 pour peu que T_2 soit un sous-type de T_1 . On appelle aussi cela le **principe de substitution** (*substitution principle*).

Par exemple, si une fonction prend en argument une valeur de type `Number`, en plus d'une valeur de ce type on peut lui passer une valeur de type `Integer`, `Double`, etc. qui sont des sous-types de `Number`. Ainsi, l'appel à `add` ci-dessous est valide en raison du principe de substitution :

```
Number add(Number n1, Number n2) {  
    return new Double(n1.doubleValue() + n2.doubleValue());  
}  
add(new Integer(1), new Double(3.14));
```

Formellement, la relation de sous-typage est :

- **réflexive**, c-à-d que tout type est sous-type de lui-même,
- **transitive**, c-à-d que si un type T_1 est sous-type d'un type T_2 et T_2 est sous-type de T_3 , alors T_1 est aussi sous-type de T_3 ,
- **anti-symétrique**, c-à-d que si T_1 est sous-type de T_2 et T_2 est sous-type de T_1 , alors $T_1 = T_2$.

En mathématiques, une relation possédant ces trois propriétés est appelée un **ordre partiel** (*partial order*).

Comme tout ordre partiel, la relation de sous-typage Java peut être visualisée sous la forme d'un graphe dirigé dans lequel chaque type est un nœud et un arc lie le nœud d'un type à celui de ses super-types directs. La figure 1 présente un minuscule extrait du graphe des types standard Java.

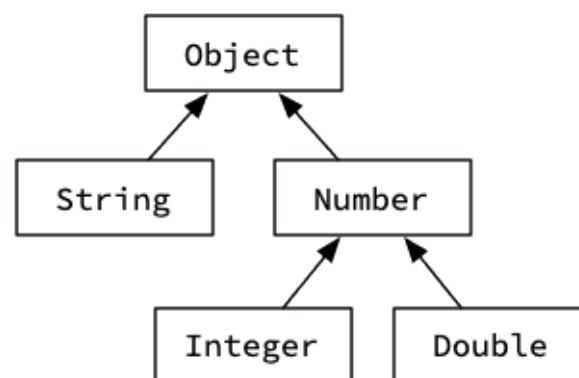


Fig. 1 : Extrait du graphe des types standard Java

A noter que lorsqu'un type T_2 est sous-type d'un type T_1 , on dit que T_1 est un **super-type** de T_2 .

3 Sous-typage et généricité

Le sous-typage et la généricité interagissent de manière non triviale et parfois surprenante. Pour l'illustrer, nous utiliserons l'interface générique `List` ci-dessous, une version simplifiée de celle de la bibliothèque Java, ainsi que sa mise en œuvre (simplifiée) `LinkedList`, que l'on suppose exister.

```
public interface List<E> implements Iterable<E> {  
    void add(E newElem);  
    Iterator<E> iterator();  
}
```

Le principe de substitution nous permet d'ajouter n'importe quel type de nombre — c-à-d n'importe quel sous-type de `Number` — à une liste de nombres :

```
List<Number> l = new LinkedList<>();
Integer i = 1;
l.add(i); // valide car Integer est sous-type de Number
Double d = 3.14;
l.add(d); // valide car Double est sous-type de Number
```

Pour faciliter l'ajout de tous les éléments d'une liste à une liste existante, on peut vouloir ajouter une méthode `addAll` à `List`. Une première version de cette méthode pourrait ressembler à ceci :

```
public interface List<E> {
    // ...
    void addAll(List<E> other);
}
public class LinkedList<E> implements List<E> {
    // ...
    void addAll(List<E> other) {
        for (E elem: other)
            add(elem);
    }
}
```

Malheureusement, cette méthode `addAll` n'est pas utilisable comme nous le désirions, car l'ajout d'une liste d'entiers `Integer` à une liste de nombres `Number` est invalide :

```
List<Number> l = new LinkedList<>();
List<Integer> li = new LinkedList<>();
Integer i = 1;
li.add(i);
l.addAll(li); // refusé !
```

Ce code est refusé car, en Java, une instantiation d'un type générique n'est *jamais* sous-type d'une autre instantiation de ce même type générique ! Par exemple, le type `List<U>` n'est jamais sous-type de `List<V>` sauf dans le cas trivial où $U = V$. Nous verrons plus loin la raison de cette restriction.

Le seul moyen de rendre l'appel à `addAll` valide est donc de changer le type de la seconde liste pour en faire une liste de `Number`. Cela n'est pas très satisfaisant, car il est clairement valide d'ajouter une liste d'entiers à une liste de nombres. Il nous faudra trouver une solution !

Attention toutefois, la restriction mentionnée ne signifie pas que deux types génériques différents ne peuvent pas être liés par la relation de sous-typage. Par exemple, `LinkedList<String>` est un sous-type de `List<String>` car la classe générique

`LinkedList<E>` implémente l'interface `List<E>`. Par contre, deux instantiations différentes du même type générique ne sont jamais liées entre elles par la relation de sous-typage.

Cela est illustré par la figure 2 qui montre la relation de sous-typage pour deux instantiations de `List`. Il est très important de noter l'absence de flèche (donc de relation de sous-typage) entre les deux instantiations de `List` ou de `LinkedList`.

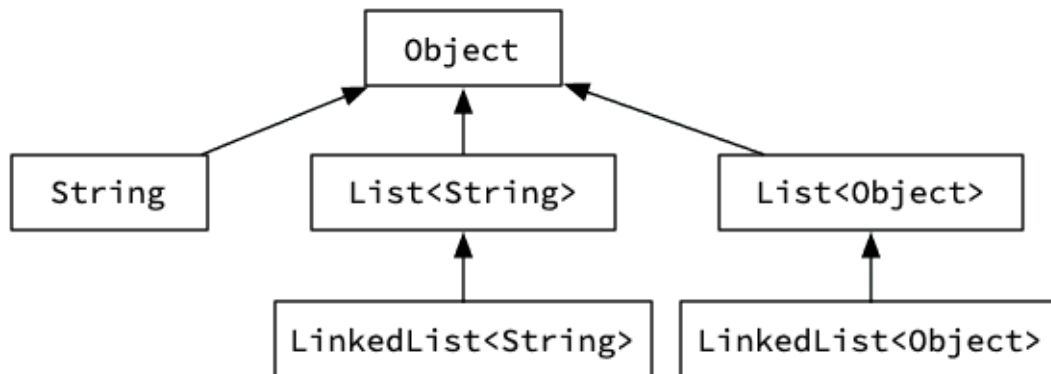


Fig. 2 : Absence de sous-typage entre instantiations de `List`

Pourquoi les concepteurs de la généricité Java ont-ils choisi d'imposer cette restriction ? Pour le comprendre, admettons que `List<Integer>` soit un sous-type de `List<Number>`. Cela nous autoriserait à écrire le code suivant :

```

void addPi(List<Number> l) {
    l.add(3.14);
}
List<Integer> l = new LinkedList<>();
addPi(l);
  
```

Or ce code est clairement faux, car il ajoute un nombre réel — une valeur de type `Double`, pour être précis — à une liste de nombre entiers.

3.1 Borne supérieure

N'est-il pas possible de définir une méthode `addAll` qui soit plus générale que celle définie précédemment, et qui permette l'ajout — valide — d'une liste d'entiers à une liste de nombres ? Oui, mais il faut pour cela la rendre générique et *borner* son paramètre de type. C'est ce qui est fait dans la nouvelle version de la méthode `addAll` ci-dessous :

```

interface List<E> {
    // ...
    <F extends E> void addAll(List<F> other);
}
  
```

La notation `<F extends E>` déclare que la méthode `addAll` est générique, son paramètre de type s'appelle `F`, et il est borné par `E`. Cela signifie que, pour qu'une utilisation de cette méthode soit valide, il faut que le type du paramètre `F` soit un sous-type du type du paramètre `E`.

Grâce à cette borne, le code précédent est maintenant valide :

```
List<Number> l = new LinkedList<>();
List<Integer> li = new LinkedList<>();
Integer i = 1;
li.add(i);
l.addAll(li);
```

et le type inféré pour le paramètre de type `F` est `Integer`. La borne est clairement respectée, puisque `E` est instancié à `Number` pour la liste `l`, et `Integer` est un sous-type de `Number`. En résumé, la borne (supérieure) utilisée ici permet l'utilisation de n'importe quel sous-type de la borne, `Number` dans cet exemple. Cela est illustré par la figure 3.

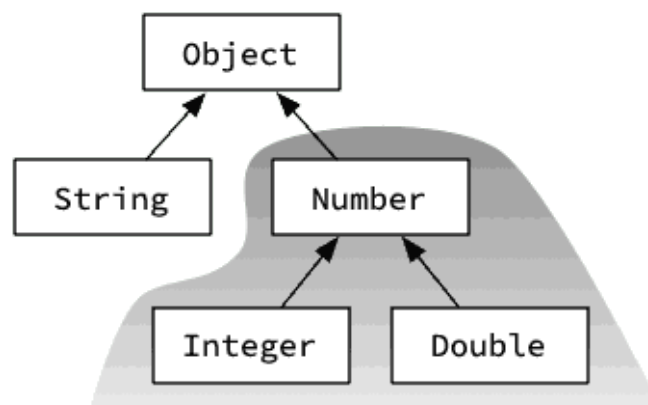


Fig. 3 : Borne supérieure

Bien entendu, changer le type dans l'interface `List` n'a de sens que si les mises en œuvre concrètes de la méthode restent valides. Pour `addAll`, c'est le cas :

```
public class LinkedList<E> implements List<E> {
    // ...
    <F extends E> void addAll(List<F> other) {
        for (F elem: other)
            add(elem);
    }
}
```

Cette définition de `addAll` est valide, car le principe de substitution autorise l'ajout, via la méthode `add`, d'un élément de type `F` à une liste dont les éléments ont le type `E`, étant donné que la borne garantit que `F` est un sous-type de `E`.

4 Jokers (ou *wildcards*)

Le paramètre de type `F` de la méthode `addAll` n'est pas utilisé ailleurs que dans son type. Il n'est donc pas nécessaire de le nommer, et Java permet d'utiliser dans ce cas un **joker** (*wildcard*) borné, noté `?` :

```
public interface List<E> {  
    // ...  
    void addAll(List<? extends E> other);  
}
```

Cette version de `addAll` est totalement équivalente à la précédente, mais plus concise et donc généralement préférable.

A noter qu'il est aussi possible d'utiliser un joker sans le borner explicitement, ce qui équivaut à le borner avec `Object`. Par exemple, `List<?>` est équivalent à `List<? extends Object>`.

4.1 Bornes inférieures

Nous avons réussi à définir une méthode `addAll` satisfaisante. Essayons maintenant de définir une méthode `addAllInto` qui ajoute tous les éléments du récepteur dans la liste passée en argument. Notre première tentative pourrait ressembler à ceci :

```
public interface List<E> {  
    // ...  
    void addAllInto(List<E> other);  
}  
class LinkedList<E> implements List<E> {  
    // ...  
    void addAllInto(List<E> other) {  
        other.addAll(this);  
    }  
}
```

Bien entendu, cette première version possède les mêmes limitations que notre première version de la méthode `addAll`, à savoir que le code suivant est invalide :

```
List<Number> l = new LinkedList<>();  
List<Integer> li = new LinkedList<>();  
Integer i = 1;  
li.add(i);  
li.addAllInto(l); // refusé !
```

Nous pourrions bien entendu essayer de résoudre le problème de la même manière que pour `addAll`, c-à-d en utilisant un joker équipé d'une borne supérieure :

```
public interface List<E> {
    // ...
    void addAllInto(List<? extends E> other);
}
List<Number> l = new LinkedList<>();
List<Integer> li = new LinkedList<>();
Integer i = 1;
li.add(i);
li.addAllInto(l);
```

Malheureusement cela ne fonctionne pas car la borne de `addAllInto` doit être une borne *inférieure* et pas supérieure ! Heureusement, Java offre de telles bornes sur les jokers — mais pas sur les paramètres de type :

```
public interface List<E> {
    // ...
    void addAllInto(List<? super E> other);
}
List<Number> l = new LinkedList<>();
List<Integer> li = new LinkedList<>();
Integer i = 1;
li.add(i);
li.addAllInto(l);
```

La borne inférieure permet l'utilisation de n'importe quel super-type de la borne, ici `Integer`, ce qui est illustré par la figure 4.

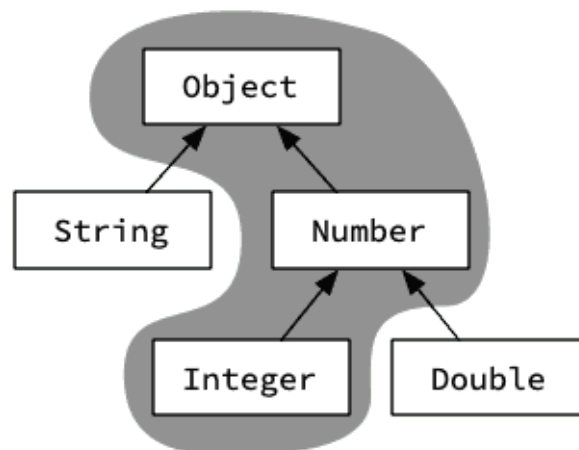


Fig. 4 : Borne inférieure

Pour terminer, admettons que l'on désire définir une méthode `addAllFromAndInto` qui ajoute tous les éléments de l'argument au récepteur et inversement :

```
public interface List<E> {
    // ...
    void addAllFromAndInto(List<E> other);
}
class LinkedList<E> implements List<E> {
    // ...
    void addAllFromAndInto(List<E> other) {
        this.addAll(other);
        other.addAll(this);
    }
}
```

Quel type de borne utiliser et pourquoi ? Aucune — ou les deux, ce qui revient au même — car on veut à la fois lire et écrire dans le récepteur !

Règle des bornes : Lorsqu'on désire uniquement lire dans une structure, on utilise une borne supérieure (avec `extends`) ; lorsqu'on désire uniquement y écrire, on utilise une borne inférieure (avec `super`) ; lorsqu'on désire à la fois y lire et y écrire, on n'utilise aucune borne.

En anglais, cette règle est parfois désignée par *PECS*, acronyme de *Producer Extends, Consumer Super* qui permet de se souvenir facilement que :

- lorsque la structure que l'on utilise est un producteur, c-à-d qu'on y lit des valeurs, il faut utiliser `extends` pour borner son type, et
- lorsque la structure que l'on utilise est un consommateur, c-à-d qu'on y écrit des valeurs, il faut utiliser `super` pour borner son type.

Lorsqu'on désire à la fois lire et écrire, on ne peut borner son type.

5 Types bruts

La généricité n'a été introduite que tardivement dans le langage Java, à un moment où beaucoup de code non générique avait déjà été écrit. Idéalement, tout ce code non générique aurait dû être adapté immédiatement, et la question de la compatibilité entre les deux formes de code ne se serait pas posée.

En pratique, cela n'était bien entendu pas possible, et les concepteurs de la généricité Java ont donc introduit des concepts facilitant la compatibilité entre le code générique et le code non générique. Nous ne considérerons ici que le cas du code non générique utilisant du code générique.

Lorsque la généricité a été ajoutée à Java, sa bibliothèque standard a été modifiée pour en tirer parti. Par exemple, l'interface `List` a été transformée en `List<E>`, où `E`

représente le type des éléments de la liste. Rigoureusement, une fois cette modification faite, le type `List` (sans argument de type) est invalide et son utilisation devrait être refusée. Mais cela rendrait beaucoup d'ancien code invalide.

Pour éviter ce problème, les concepteurs de Java ont introduit la notion de **type brut** (*raw type*), qui est simplement un type générique utilisé sans paramètres. Dans notre exemple, `List` est un tel type.

La version brute d'un type interagit avec la version générique de ce même type de la manière suivante :

- une version générique peut être utilisée partout où la version brute est attendue, sans provoquer l'affichage d'un avertissement,
- la version brute peut être utilisée partout où une version générique est attendue, mais cela provoque l'affichage d'un avertissement.

Par exemple, si on passe une valeur qui a le type brut `List` à une méthode qui attend une valeur de type `List<String>`, le code est accepté avec un avertissement.

Règle des types bruts : N'utilisez *jamais* les types bruts dans votre code, ils n'existent que pour faciliter la migration du code écrit avant l'introduction de la généricité.

6 Références

- *Effective Java (3rd ed.)* de Joshua Bloch, en particulier :
 - la règle 31, *Use bounded wildcards to increase API flexibility* sur l'utilisation judicieuse des jokers bornés,
 - la règle 26, *Don't use raw types* sur les types bruts et les raisons de ne plus les utiliser,
- *Java Generics and Collections* de Maurice Naftalin 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.