Année 2020-2021

Polytech'Paris-Saclay – 4ème année
Département Informatique

« Polymorphisme et Généricité en Java »

Frédéric Voisin
Département Informatique

Co-variance *vs* Contra-variance (rappel !)

Soit `Figure Id (X: Figure ) { … }` dans `Figure`

Dans `Cercle` on peut **redéfinir** `Id` en gardant son en-tête:

```
Figure Cercle::Id (X: Figure ) { … }        -- OK
```

Lors d'une **redéfinition**, peut-on spécialiser/élargir le type des paramètres ou du résultat ?

```
Id (X: Cercle) return Figure is …                -- KO
Id (X: Figure) return Cercle is ...              -- OK
Id (X: FigureAbstraite) return Figure is …       -- OK
Id (X: Figure) return FigureAbstraite is …       -- KO
```

Co-variance pour le résultat (ex : `clone()` en Java)

Contra-variance pour les paramètres (pas forcément implémenté dans les langages et vu plutôt comme une surcharge)

Polymorphisme paramétrique à la Ada (rappel)

```
generic
   type Elem is private;
   type Table is array(integer range <>) of elem;
   with function "<="(E1,E2 : Elem) return boolean;
```

paramètres

procedure Tri(t: **in out** Table); – *tri générique...*

Idée ? Pouvoir paramétrer une procédure ou un type par :

- des types, des procédures, des fonctions
- décrire les « propriétés » attendues de ces paramètres

« Concrétisation » explicite (Ada) ou implicite (C++) qui associe des éléments concrets aux paramètres de généricité.

```
procedure TriIntDecr is -- à la Ada
  new Tri(Elem => integer, "<=" => ">=", Table => MesTableInt);
```

On n'exécute pas la forme générique mais la version concrétisée

La généricité à partir de Java 5.0

```
public class Paire<T1, T2> {          // détail dans le prochain transparent
  protected T1 first;
  protected T2 second;
  public Paire(T1 a, T2 b) { first = a; second = b; }
  …
}
Paire<String, Integer> maPaire = new Paire<String, Integer>("a", 1);
Paire<String, Integer> maPaire = new Paire<>("a", 1);
```

Contraintes possibles sur le paramètre :

Au plus une classe, forcément en tête, et des interfaces;
Si seulement des interfaces, leur ordre importe (voir après) !

```
public class C <T extends T1 & I1 & I2> { … }
C<A> monObj;      // OK si A est sous-classe de T1 et implémente I1 et I2
```

Une classe générique simple

```
public class Paire<T1, T2> {
  private T1 first; private T2 second;
  public Paire(T1 a, T2 b) { first = a; second = b; }
  public T1 first() { return first; }
  public T2 second() { return second; }
  public void setFirst(T1 val) { first = val; }
  public void setSecond(T2 val) { second = val; }
  … etc …
}
```

Ici, simple car il n'y a aucune contrainte sur `T1` et `T2`.

En pratique, moins simple à concevoir qu'on pourrait croire, si on veut qu'elle soit *réellement* réutilisable

Autres éléments génériques Java 5.0

Interfaces génériques :

```
interface Comparable<T> { int compareTo(T o); }
public class C implements Comparable<C> { int compareTo(C o) {...} }
```

Autre exemple : `interface Collection<E> extends Iterable<E> { ... }`

Méthodes génériques (ici supposées dans une classe `Utilitaires`)

```
public static <T> T anyOne(T[] tab)…
// version provisoire de l'en-tête …
public static <T extends Comparable<T>> T max(Collection<T> c)
```

```
String[] maTable = { "Hello", "world" };
Collection<String> l = Arrays.asList("Hello", "world");

String s = Utilitaires.<String>anyOne(maTable); // <String> explicite
String s = Utilitaires.max(l);                  // <String> implicite
```

La généricité en Java : Principes de base

- Renforcer le typage statique et diminuer le besoin en transtypage explicite
- **Compatibilité avec le code existant** et **avec la JVM Java4**.

La généricité est traitée **à la compilation**

- Pas de classe générique à l'exécution : la **JVM reste non générique**.
- Le compilateur convertit les génériques en non-génériques
  - Ajout de contrôles statiques
  - Ajout automatique et silencieux de transtypages

```
Paire<String, String> ps; ps.setFirst(e); String s = ps.first();
```

- À l'exécution **une seule version** de la classe, basée sur le « type limitatif » du paramètre : les paramètres de type sont « **effacés** » !

Différent donc du modèle Ada/C++ :
Dynamiquement, il existe une unique version, non générique

Exemples d'effacement de type

```
class ArrayList<E>
 implements List<E>,...
{ … }
```

- **`ArrayList<E>`** :
  la version « effacée » est équivalente à `ArrayList<Object>`
- **`public class Paire<T1, T2>`** : `T1` et `T2` n'ont pas de contraintes.
  la version « effacée » est équivalente à `Paire<Object, Object>`
- **`public class C <T extends C1 & I1 & I2, … >`** `{ … }`
  la version « effacée » est équivalente à `C<C1>`
- **`public class Intervalle <T extends Comparable>`** `{ … }`
  la version « effacée » est équivalente à `Intervalle<Comparable>`

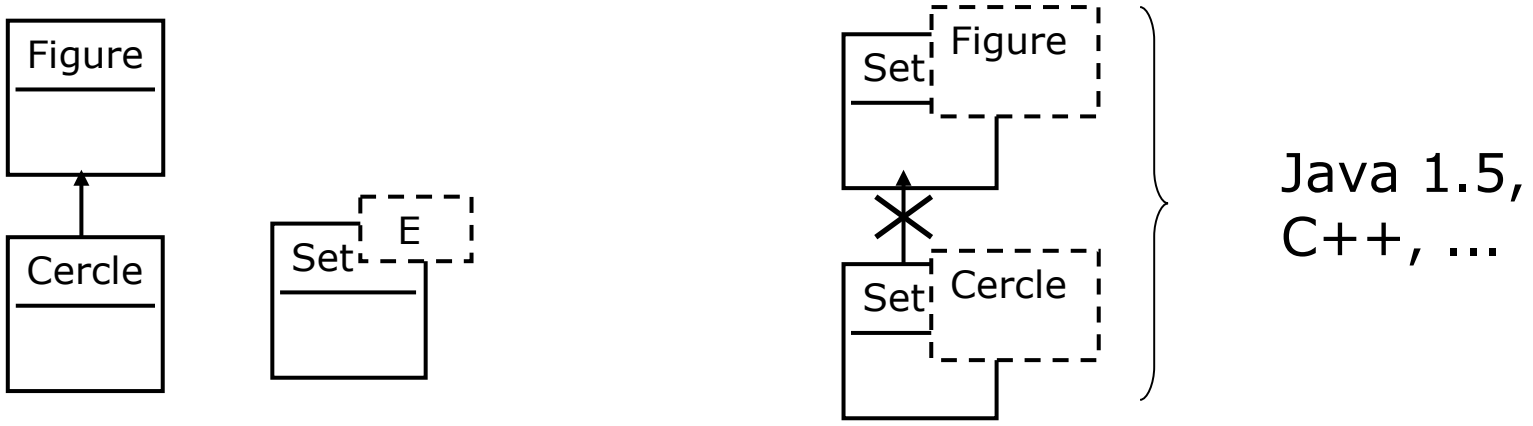
Ada/C++: `Paire`, ou `Paire<T1, T2>`, n'existe pas à l'exécution !

Java : `Paire` est une classe standard. Dynamiquement, il existe une unique version non générique !

```
Paire p;    -- compile, mais représente quelle type de paire ?
```

Polymorphisme générique et par inclusion

Supposons qu'il existe une classe générique `Set<E>`



Même problème dans tout langage avec héritage+généricité:

lié à la contravariance sur les paramètres des méthodes.

Polymorphisme générique et par inclusion

```
public class Set<Elem> {                    // syntaxe Java pour l'exemple
  public void insert(Elem e){ … }
};
```

par instantiation de `Elem` de `Set`, on obtient l'équivalent de:

```
Set<Figure>        // définit void insert(Figure e) { … }
Set<Cercle>        // définit void insert(Cercle e) { … }
```

```
void teste(Set<Figure> s) { s.insert(new Rectangle()); }   // OK
teste(new Set<Cercle>());                                  // OK ?
```

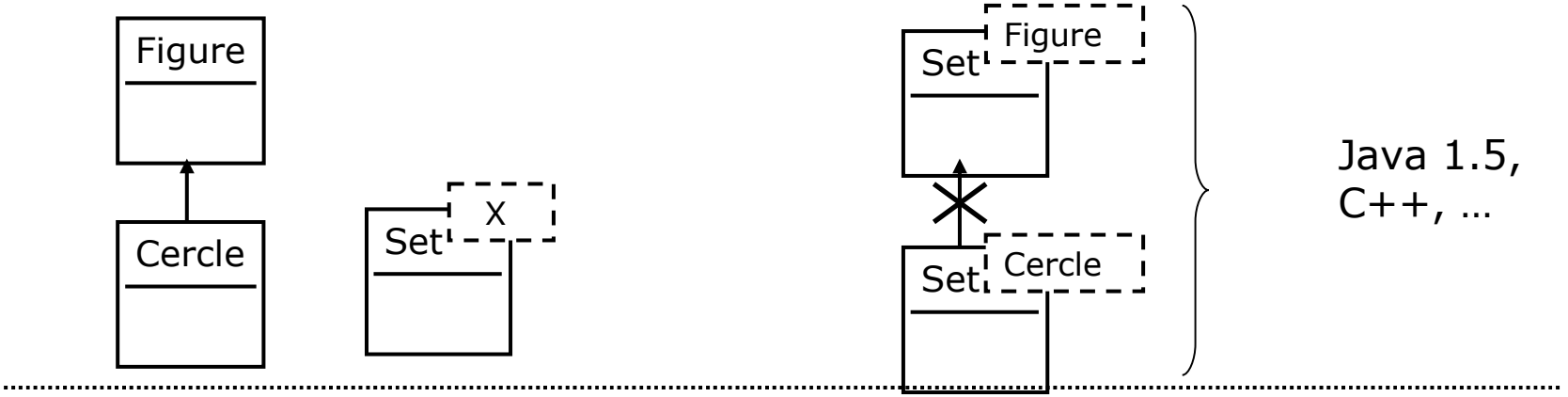
Si `Set<Cercle>` était sous-type de `Set<Figure>`, on aurait une incohérence.

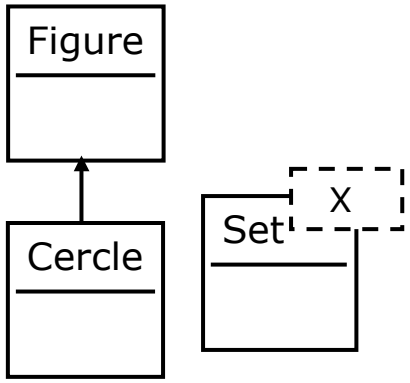
*=> `Set<Cercle>` **ne doit pas être** sous-type de `Set<Figure>`*

*=> `teste(new Set<Cercle>());` ne doit **pas** compiler !*

De même, `Set<Cercle>` n'est pas sous-type de `Set<Object>`

Polymorphisme générique et par inclusion





Java 1.5 : `Set<Figure>` et `Set<Cercle>` n'existent pas mais ces deux classes sont représentées à l'exécution par l'unique classe `Set`

Le poids du passé ...

Java 5 : compatibilité délicate avec le code existant non générique

```
static ArrayList f(ArrayList arg) { ... } // Java 4
ArrayList<Integer> a1 = new ArrayList<Integer>(); // Java 5
ArrayList<Object>  a2 = new ArrayList<Object>();
a1 = f(a1);                          // OK ?
a2 = f(a1);                          // OK ?
a2 = a1;                             // OK ?
a1 = a2;                             // OK ?
a1 = (ArrayList<Integer>) a2;        // OK ?
a1 = f(a2);                          // OK ?
a2.add("Sad world"); Integer i = a1.get(0);
```

Dans la suite on s'en sert pour révéler des mécanismes internes et certaines restrictions !

Pas de problème si on ne mélange pas Java4- et Java5+
A la compilation, des « warnings » préviennent du problème

Cas particuliers des tableaux (rappel)

```
Figure[] tf = new Figure[2];
Cercle[] tc = new Cercle[2];
Rectangle r = new Rectangle(…);
Figure f;
tf[0] = r;        // OK
tf = tc;          // OK en Java ! tf référence un tableau de cercles...
tf[0] = r;        // KO à l'exécution (ArrayStoreException)
```

Les tableaux doivent mémoriser **dynamiquement** le type d'éléments stockables pour pouvoir lever l'exception.

Contrôle explicite à **l'exécution** … et risque de levée d'exception !

Était-ce une bonne idée d'autoriser `tf = tc ???`

Les tableaux sont vus comme une construction covariante en Java

Quelques restrictions sur les génériques

- Pas de classe générique **d'exceptions**.
- Pas de **type primitif** dans les instanciations :

```
Paire<int, double> p;      // KO : serait Paire<Object, Object>
Paire<Integer, Double> p; // OK
```

Inconvénient allégé par « boxing/unboxing » automatique

- Perte de fiabilité des **informations dynamiques** de type

```
ArrayList<Integer> ai = new ArrayList<Integer>();
ArrayList<String>  as = new ArrayList<String>();
ArrayList a = ai;                    //  on passe par du Java4-
ai = (ArrayList<Integer>) a; // OK ?
as = (ArrayList<String>)  a; // OK ?
```

} **!**

`instanceof` est interdit sur les classes paramétrées : **dynamiquement**, pas de différence entre `Paire<String,String>` et `Paire<Integer,Integer>` : A l'exécution toutes deux sont représentées par `Paire`

Quelques restrictions (suite)

- Pas de **tableaux** d'instantiation de génériques

```
Paire<String, Integer>[] t = …                    // KO
```

pb avec l'effacement de types et la gestion de `ArrayStoreException`

- Pas d'**objet** d'un type paramètre

```
public class Paire<T1, T2> {
   public static T1 make_f() {
     return new T1(...);
   } // le new est dynamique: créerait une instance de quoi ?
}
```

- Pas de **variable** de type générique pour **méthodes ou attributs** `static` :

```
  public class Singleton<T> {
    static T theInst;                  // KO.
    static T getInst() { … }           // KO.
  }
```

donnerait un drôle de « singleton » après instantiation !

Retour sur un exemple simple...

```
public class Paire<T1, T2> {
  private T1 first;
  private T2 second;
  public Paire(T1 a, T2 b) { first = a; second = b; }
  public T1 first() { return first; }
  public T2 second() { return second; }
  public void setFirst(T1 val) { first = val; }
  public void setSecond(T2 val) { second = val; }
}
```

Qu’obtient-on à l’exécution avec l'effacement de type ?

Après effacement ...

Tout se passe comme si, **dans la JVM**, il y avait en fait:

```
public class Paire {
  private Object first;
  private Object second;
  public Paire(Object a, Object b){ first=a; second=b;}
  public Object first() { return first; }
  public Object second() { return second; }
  public void setFirst(Object v) { first = v; }
  public void setSecond(Object v) { second = v; }
}
```

sauf que le compilateur ajoute à votre code contrôles statiques et transtypages pour garantir le typage sûr.

Les méthodes de `Paire` à l'exécution

On vérifie par introspection:

```
Paire<String, String> p = new Paire<>("hello", "world");
for(Method m: p.getClass().getMethods()) {
   System.out.println(m);
}
```

```
public java.lang.Object Pair.second()
public void Pair.setSecond(java.lang.Object)
public void Pair.setFirst(java.lang.Object)
public boolean Pair.equals(java.lang.Object)
public java.lang.Object Pair.first()
public java.lang.String java.lang.Object.toString()
public native int java.lang.Object.hashCode()
...
```

Une utilisation de `Paire`

```
static int teste(Paire<Integer, Integer> pi) {
  return pi.first() + pi.second();    // OK. Ajout silencieux de cast.
}

static void t2(Paire<Integer, Integer> pi) { pi.second(); } // OK


public static void main(String[] argv) {
   Paire<Integer, Integer> pi = new Paire<>(1, 2);
   Paire p = pi ;                          // OK ! Warning à la compilation
   teste(pi);                              // OK !
   pi.setSecond("Coucou");                 // KO à la compilation, normal
   p.setSecond("Coucou");                  // OK
   teste(pi);                              // à l'exécution ?
   t2(pi);                                 // à l'exécution ?
}
```

Rédéfinition dans une sous-classe de `Paire`

```
public class PaireInteger extends Paire<Integer, Integer> {
  public void setSecond(Integer i) { // est-ce bien une redéfinition ?
    …   super.setSecond(2*i);        // OK ?
   }
} // PaireInteger n'est pas générique.
```

S'agit-il d'une **redéfinition** ou une **surcharge** ?

Dans la JVM, `PaireInteger` a apparemment **deux** méthodes `setSecond` :

`public void setSecond(Object v)` – **héritée** de `Paire<Integer,Integer>`

`public void setSecond(Integer i)` – **locale, redéfinit la méthode héritée**

La seconde est-elle une redéfinition : les signatures diffèrent !

```
PaireInteger pi = new PaireInteger();
Paire p = pi ;
p.setSecond(1);          // Compile ? Quelle méthode setSecond ?
p.setSecond("hello"); // mêmes questions
```

Méthodes « bridges » (1)

But : concilier « effacement de type » et comportement attendu du polymorphisme en cas de redéfinition

Le compilateur ajoute dans `PaireInteger` une méthode qui **redéfinit** la version de la classe générique et fait le lien avec la méthode **surchargée** ! Le code correspond à :

```
public void setSecond(Object v) {
   this.setSecond((Integer) v);  // cast risqué ou pas ?
}
```

Méthode ajoutée automatiquement par le compilateur, non référençable par le programmeur (n'existe que dans le bytecode).

Une conséquence est qu'il est impossible de définir soi-même dans `PaireInteger` *une méthode avec cette signature !*

Les méthodes de `PaireInteger à l'exécution`

On vérifie par introspection:

```
public void PaireInteger.setSecond(java.lang.Integer)
// la méthode ci-dessous a été ajoutée automatiquement
public void PaireInteger.setSecond(java.lang.Object)
public void Pair.setFirst(java.lang.Object)
public java.lang.Object Pair.second()
public boolean Pair.equals(java.lang.Object)
public java.lang.Object Pair.first()
public java.lang.String java.lang.Object.toString()
public native int java.lang.Object.hashCode()
...
```

Illustration des méthodes « bridges » (1/2)

```
public static void main(String[] args) {
   PairInt pi = new PairInt(); Pair p = pi;
   pi.setFirst(5); pi.setSecond(12);
   System.out.println(pi.first() + pi.second());

   // pi.setSecond("Coucou");              // Ne compile pas.

  // Exception levée par le « cast » dans la méthode bridge.
  // L'exception est levée avant l'appel à la fonction définie dans PaireInteger
   p.setsecond("Coucou");
}
```

Trace d'exécution:

```
29       // 29 = 2*12+5
Exception in thread "main" java.lang.ClassCastException:
java.lang.String cannot be cast to java.lang.Integer
        at PairInt.setSecond(PairInt.java:1)      // ligne 1 ??
        at TestePairInt.main(TestePairInt.java:37)
```

Méthodes « bridges » (2)

Même problème pour gérer la covariance du type de retour !

```
public class A { public A f() { return new A(); } }

public class B extends A {
   public B f() {                  // Redéfinition ?
   B res1 = this.f();              // Boucle à l'exécution: Normal.
   A res2 = super.f();             // OK, appelle la version A de f
   ((A) this).f();                 // Compile mais exécute quoi ?
 }
}
```

Génération automatique d'une méthode "bridge" dans `B`

```
public A f() { return this.f();}
```

Deux méthodes `f()` sans paramètre dans la JVM pour `B`: une à valeurs dans `A`, l'autre à valeurs dans `B`.

Une méthode bridge pour faire la liaison

Illustration des méthodes « bridges » (2/2)

```
public class A {
  public A f() { System.out.println("A::f"); return new A(); }
}

public class B extends A {
   private static int cpt = 1; // compteur d'appels
   public B f() {
     System.out.println("B::f");
     if (cpt++ == 5) {          // leve une exception au 5eme appel
        throw new UnsupportedOperationException();
     } else {
     A aux = ((A) this.f()); // appel recursif via le « bridge »
     }
     return new B() ;
 }

  public static void main(String [] arg) { (new B()).f(); }
}
```

La trace de l'exemple précédent

Examen des méthodes de `B` par introspection :

```
public B B.f()
public A B.f()
```

Impression et trace d'exception

```
  B::f()
  B::f()
  B::f()
  B::f()
  B::f()
Exception in thread "main" java.lang.UnsupportedOperationException
        at B.f(B.java:12)
        at B.f(B.java:1)          // la méthode ajoutée
        at B.f(B.java:14)         // la méthode du code
        at B.f(B.java:1)
        at B.f(B.java:14)
        at B.f(B.java:1)
        at B.f(B.java:14)
        at B.f(B.java:1)
        at B.f(B.java:14)
        at B.main(B.java:21)
```

Écriture de méthodes/classes génériques

- La « non-compatibilité » entre instantiation et héritage complique l'écriture de méthodes réutilisables …

```
static void dessineTout (Collection<Figure> c) {
        for(Figure f: c) f.dessine();                    // OK
}

Collection<Cercle> ac = new ArrayList<>();
dessineTout(ac);                                         // KO !
dessineTout((Collection<Figure>) ac);                    // KO !
```

Pourtant, `dessineTout` ne fait que parcourir `c` sans la modifier.

- Avec les librairies génériques (`Collection`, `Comparable`, etc.), cela reste transparent !
  - Merci aux concepteurs des bibliothèques !
  - Spécification parfois surprenante des paramètres ;-|

  Il faut des mécanismes pour différencier les cas « problématiques »

Tentatives de solutions…

Passage par une procédure générique ?

```
public static <T extends Figure> void dessineTout(Collection<T> c)
   {  for(T f: c) f.dessine(); }
```

artificiel : `dessineTout` n'a aucune raison de devoir être générique !

Le type pour **`T`** est inféré par le compilateur d'après le type de l'argument.
Une seule version existe à l'exécution, basée sur le type limitatif.

☞ Introduction de « **joker** » (« wildcard ») dans la description des paramètres ou du résultat d'une méthode, pour mieux faire cohabiter instantiation et héritage !

Lié à nouveau aux notions de covariance/contravariance

Types « Joker »

- Possibilité d'avoir des types « joker », bornés inférieurement ou supérieurement, plutôt qu'un type fixe:

  `< ? >` : « n'importe quel type » (un type **précis** mais **inconnu**, pas inféré à la compilation comme pour une méthode générique)

  `< ? extends Figure>` n'importe quel **sous-type** de `Figure` (inclus)

  `< ? super Figure>` n'importe quel **super-type** de `Figure` (inclus)

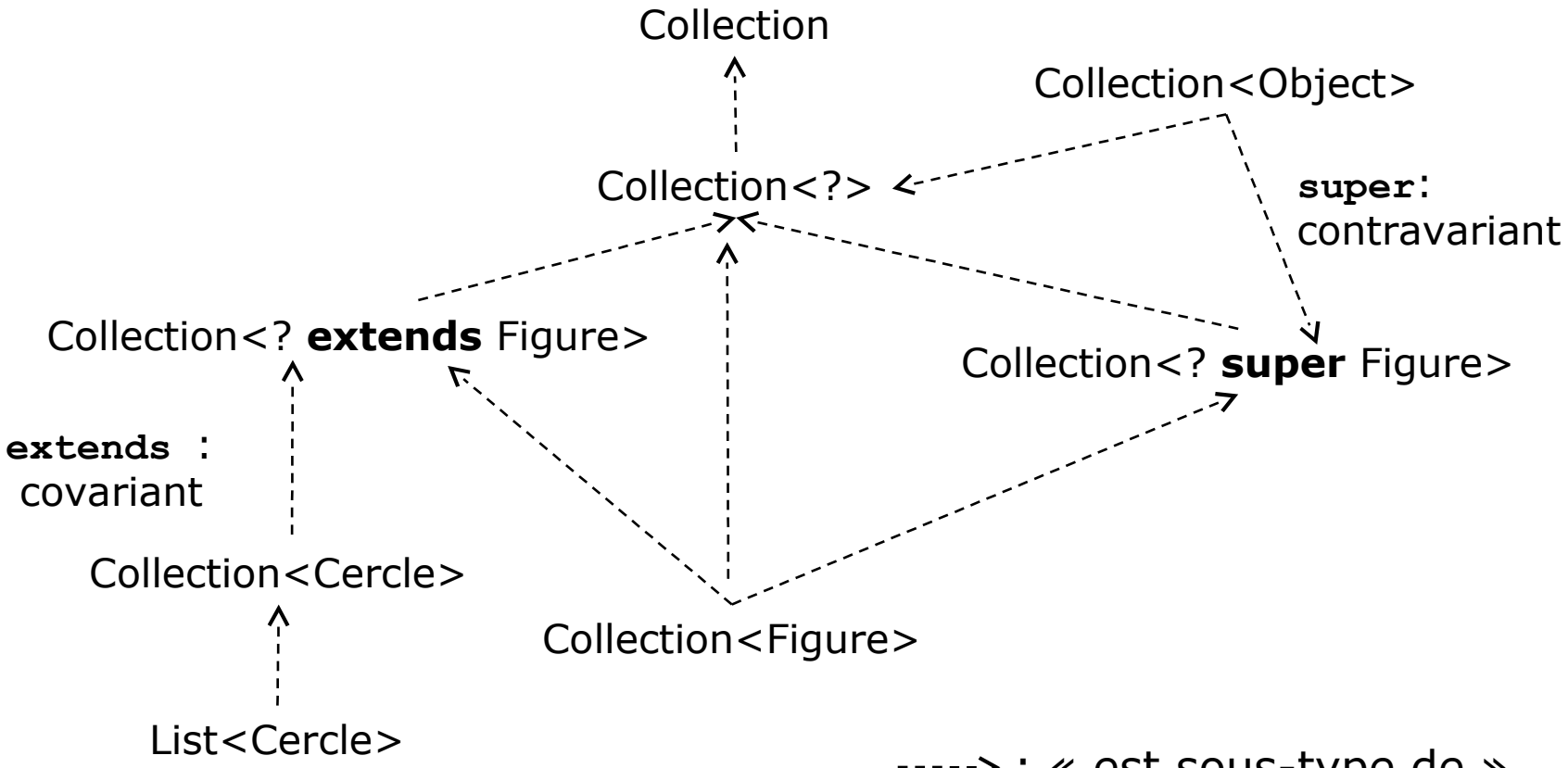
- Utilisable pour typer des paramètres de méthodes, des arguments de génériques, des valeurs de retour

- **Différentes limitations associés à ces types joker, mais qui permettent d'autoriser les usages sûrs.**

- `ArrayList ≠ ArrayList<Object> ≠ ArrayList<?>`

  les règles de typage sont différentes !

Hiérarchies de sous-typage avec Joker…



Restrictions liées aux jokers

```
class ArrayList<E> … {
   boolean add(E elt);
   E get(int i) ;
}
```

```
public static void f(ArrayList<?> arg, Object o) {
   arg.add(o);        // KO : ici, pas d'argument acceptable pour add
   arg.get(0) ;       // OK mais interprété comme donnant Object
} // arg : collection d'un type précis mais inconnu.

public static void g(ArrayList<? extends Figure> arg) {
   Figure f = arg.get(0);
   arg.add(f);
   arg.add(new Cercle());
}

public static Figure g(ArrayList<? extends Figure> arg) {
    return arg.get(0);     // OK, mais pas typable mieux que Figure
}
```

Restrictions basées sur la distinction entre positions covariantes et contra-variantes...

Restrictions liées aux jokers (2)

`ArrayList<? super Figure>` : *restrictions duales…*

Exemple : Ajoute à une collection les éléments d'une autre collection :

```
static void ajout(ArrayList<? extends Figure> src,
                  ArrayList<? super Figure> dst) {
    for(Figure f: src) dst.add(f);    // get implicite sur src
} // avec ces jokers on peut parcourir src et modifier dst :
```

```
ArrayList<Cercle> ac = new ArrayList<Cercle>();
Array<Object>     os = new ArrayList<Object>();
ac.add(new Cercle()); ac.add(new Cercle());
os.add("coucou"); os.add(1);
ajout(ac, os);
```

Restrictions liées aux jokers

```
public class C<E> {
    E x;
    void f(E e) { x = e; }
    E g() { return x;}
}
```

Considérons une méthode `m(C<? extends Figure> arg)`

Si une méthode de C<**E**> a un **paramètre** de type **E** on ne peut pas passer un argument spécifique (`Figure`, `Cercle`, …) pour `arg`.

Si une méthode de C<**E**> renvoie un **résultat** de type **E**, on peut l'utiliser là où on attend une instance de type `Figure` !

Joker **« ? extends »** : de nature covariante
=> interdit l'usage de `arg` en position contravariante
=> `m` peut maintenant être appelée en instanciant `C` avec n'importe quelle sous-classe de `Figure`

```
static void dessineTout (Collection<? extends Figure> c)
  { for(Figure f: c) f.dessine(); }

Collection<Cercle> ac = … ; Collection<Rectangle> ar = … ;
dessineTout(ac); // OK
dessineTout(ar); // OK
```

Les jokers dans l'API

Dans `Collection<E>` et ses variantes, certains paramètres de méthodes ne sont pas typés `E` mais `Object` pour contourner la limitation liée aux jokers, si cela ne compromet pas l'intégrité de la collection.

La signature de (la plupart) des méthodes reste compatible avec Java4...

```
public boolean add(E e) { ... }
public boolean contains(Object o) { ... }// Object, pas E !
public boolean remove(Object o) { ... }
```

```
public static void t(ArrayList<? extends Figure> arg, Figure f) {
  arg.remove(f); // OK. KO si remove avait pris un E en argument
  arg.add(f); // Potentiellement problématique => E en argument de add
}
```

Question : quelle est la signature de `clone()` dans `ArrayList` ?

Rôle de <? super T>

```
interface Comparator<E> {
  int compare(E o1, E o2);
} // Java 1.5
```

```
class TreeSet {
 TreeSet(Comparator c)
} // Java 1.4 ...
```

On considère `TreeSet<Cercle> s = new TreeSet(monComparateur);`

Les types possibles pour `monComparateur` dépendent de la description du paramètre « comparateur » dans la version Java 1.5 de `TreeSet`

Version naïve : `TreeSet(Comparator<E> c) { … }`

=> imposerait une méthode `int compare(Cercle o1, Cercle o2)`

=> n'accepterait que des comparateurs **entre cercles** :-(

Version améliorée : `TreeSet(Comparator<? super E> c) { … }`

accepte en plus d'éventuels comparateurs plus généraux

```
      int compare(Figure o1, Figure o2);
voire  int compare(Object o1, Object o2);
```

`max` revisitée (cf transparent 6)

Rappel : `max` **est une méthode générique**

```
static <T extends Comparable<T>> T max(Collection<T> tab) { … } ?
```

Trop restrictif : impose à `C` une méthode `int compareTo(C arg)`

```
public class C implements Comparable<Object> {
   public int compareTo(Object o) { … }
}
Collection<C> maTab = … ; C monC = max(maTab);
```

// KO

Mieux :

```
static <T extends Comparable<? super T>> T max(Collection<T> tab)
```

La signature exacte de `max` dans `Collections`

```
static <T extends Object & Comparable<? super T> >
        T max(Collection<? extends T> tab)
```

pour que la version « effacée » `Object max(Collection arg)` corresponde à celle en Java 4

Joker *vs* méthode paramétrée ?

```
static <T> ArrayList<T> add(ArrayList<T> al,
                            ArrayList<? super T> l) { -- l ne sert pas !
  ArrayList<T> r = new ArrayList<T>();  // T ? viendra d'où ? Compile ?
  for(T e: al) r.add(e);                // Compile ?? A l'exécution ??
  return r;
}

static <T> ArrayList<T> add2(ArrayList<? extends T> al,
                             ArrayList<T> l){
  ArrayList<T> r = new ArrayList<T>();  // T ? viendra d'où ? Compile ?
  for(T e: al) r.add(e);                // Compile ?
  return r;
}

ArrayList<Figure> af = new ArrayList<>();
ArrayList<object> ao = new ArrayList<>();
af.add(new Cercle()); af.add(new Rectangle());
ao.add("coucou"); ao.add(1);
```

Joker *vs* méthode paramétrée (suite)

```
ArrayList<Figure> af = new ArrayList<>();
ArrayList<object> ao = new ArrayList<>();
```

Qu'est-ce qui est correct ?
Vérifiez les appels à `add` *et* `add2` *et les affectations*

```
ArrayList<Figure> s1 = add(af, ao);      // OK ou KO ?
ArrayList<Object> s2 = add(af, ao);      // OK ou KO ?
ArrayList<Figure> s3 = add2(af, ao);     // OK ou KO ?
ArrayList<Object> s4 = add2(af, ao);     // OK ou KO ?
```

Pour résumer

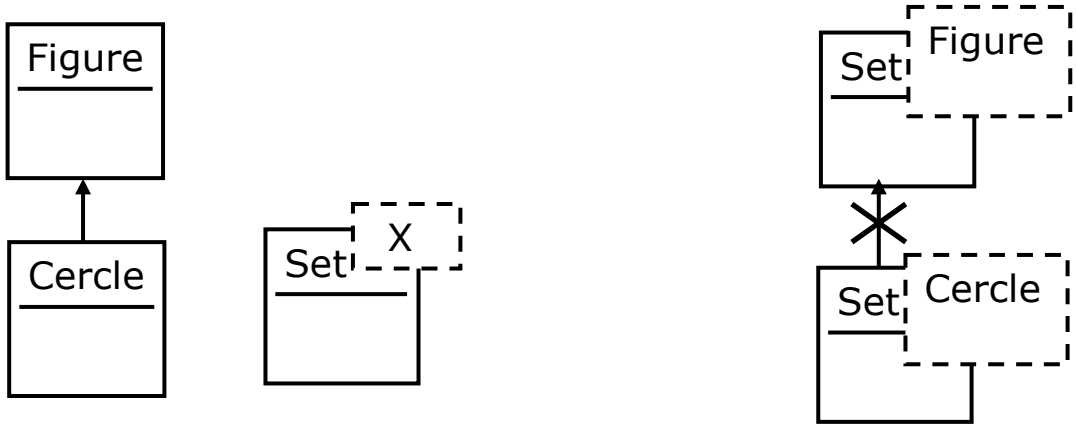
- Le mélange avec du code 4.0 réintroduit les risques d'exceptions à l'exécution (mais « warnings » à la compilation)
- Les librairies sont bien conçues et utilisables facilement parfois au prix de la perte de précision du typage des paramètres.
Ex : `Collection<E>` : `contains(Object e)` plutôt que `contains(E e)`
- Méthodes « bridges » nécessaires pour avoir le « comportement attendu » du polymorphisme

Concevoir une classe générique réutilisable ?

- Compréhension des positions covariantes/contravariantes
- Nécessite de bien maîtriser les types « Joker »
- Méthode générique ? Classe générique ?

Que manque-t-il encore ?

- Passage de méthodes en paramètre (« Lambda expressions » Java 1.8)
- Plus de flexibilité pour gérer co- et contra-variance *à la Scala.*



- Déclaration de la variance au niveau de la classe, globalement, plutôt qu'au niveau des méthodes.
- On décrit l'usage attendu de la classe et on en déduit les restrictions `class Set<X+>` ou `class Set<X->` ou `class Set<X>`