

## Semaine 6 : La notation For

Les fonctions d'ordre supérieur telles que `map`, `flatMap` ou `filter` fournissent des constructions puissantes pour manipuler les listes.

Mais parfois le niveau d'abstraction requis par ces fonctions rend le programme difficile à comprendre.

Dans ce cas, la notation `for` de Scala peut être utile.

**Exemple :** Soit une liste `persons` de personnes, avec champs `name` et `age`. Pour obtenir les noms des personnes âgées de plus de 20 ans, on écrira :

```
for ( p ← persons if p.age > 20 ) yield p.name
```

qui est équivalent à :

```
persons filter (p ⇒ p.age > 20) map (p ⇒ p.name)
```

L'expression `for` est similaire à la boucle `for` des langages impératifs, sauf qu'elle construit une liste des résultats de toutes les itérations.

1

## Syntaxe du For

Une expression `for` est de la forme

```
for ( s ) yield e
```

Ici, `s` est une séquence de *générateurs* et de *filtres*.

- Un *générateur* est de la forme `p ← e'`, où `p` est un motif et `e'` une expression dont la valeur est une liste. Il lie les variables dans le motif `p` aux valeurs successives de la liste.
- Un *filtre* est de la forme `if f` où `f` est une expression de type `Boolean`. Il écarte toutes les liaisons pour lesquelles `f` vaut `false`.
- La séquence doit débuter par un générateur.
- S'il y a plusieurs générateurs dans la séquence, les derniers générateurs varient plus rapidement que les premiers.

Et `e` est une expression dont la valeur est retournée par une itération.

2

## Utilisation de `for`

Voici deux exemples qui étaient résolus précédemment grâce à des fonctions d'ordre supérieur :

**Exemple :** Étant donné un entier positif `n`, trouver tous les couples d'entiers positifs `(i, j)` tels que `1 ≤ j < i < n`, et `i + j` est premier.

```
for ( i ← List.range(1, n);  
      j ← List.range(1, i);  
      if isPrime(i+j)  
    ) yield (i, j)
```

**Exemple :** On peut écrire le produit scalaire de deux vecteurs ainsi.

```
def scalarProduct(xs: List[Double], ys: List[Double]) : Double =  
  sum (for ( (x, y) ← xs zip ys ) yield x * y)
```

3

## Exemple : les `n` reines

- Le problème des huit reines consiste à placer 8 reines sur un échiquier de telle manière qu'aucune reine ne soit en prise avec une autre.
- Autrement dit, il ne peut y avoir deux reines sur la même ligne, colonne ou diagonale.
- On développe maintenant une solution pour les échiquiers de taille quelconque, pas simplement 8.
- Une manière de résoudre le problème est de placer une reine sur chaque ligne.
- Une fois qu'on a placé `k - 1` reines, on doit placer la `k`-ième reine dans une colonne où elle n'est en échec avec aucune autre reine sur le plateau.

4

- On peut résoudre ce problème grâce à un algorithme récursif :
  - Supposons qu'on ait déjà généré toutes les solutions consistant à placer  $k-1$  reines sur un plateau de largeur  $n$ .
  - Chaque solution est représentée par une liste (de longueur  $k-1$ ) contenant des numéros de colonne (entre  $0$  et  $n-1$ ).
  - Le numéro de colonne de la reine dans la ligne  $k-1$  vient en premier dans la liste, suivi par le numéro de colonne de la reine dans la ligne  $k-2$ , etc.
  - L'ensemble des solutions est alors représenté par une liste de listes, avec un élément pour chaque solution.
  - Maintenant, pour placer la  $k$ -ième reine, on génère toutes les extensions possibles de chaque solution précédente par une nouvelle reine :

5

```
def queens(n: Int): List[List[Int]] = {
  def placeQueens(k: Int): List[List[Int]] = {
    if (k == 0) List(List())
    else {
      for ( queens ← placeQueens(k - 1);
           col ← List.range(0, n);
           if isSafe(col, queens, 1) ) yield col :: queens
    }
  }
  placeQueens(n)
}
```

**Exercice :** Écrire une fonction

```
def isSafe(col: Int, queens: List[Int], delta: Int): Boolean
```

qui teste si une reine dans la colonne indiquée *col* est en sûreté par rapport aux reines déjà placées. Ici, *delta* est la différence entre la ligne de la reine à placer et la ligne de la première reine dans la liste.

6

## Requêtes avec *for*

La notation *for* est pour l'essentiel équivalente aux opérations communes des langages de requête des bases de données.

**Exemple :** Supposons que nous ayons une base de données de livres *books*, représentée comme une liste de livres.

```
class Book {
  val title: String
  val authors: List[String]
}

val books: List[Book] = List(
  new Book {
    val title = "Structure and Interpretation of Computer Programs"
    val authors = List("Abelson, Harald", "Sussman, Gerald J.")
  },
```

7

```
new Book {
  val title = "Introduction to Functional Programming"
  val authors = List("Bird, Richard")
},
new Book {
  val title = "Effective Java"
  val authors = List("Bloch, Joshua")
}
)
```

Alors, pour trouver les titres des livres dont le nom de l'auteur est "Bird" :

```
for ( b ← books; a ← b.authors; if (a startsWith "Bird")
    ) yield b.title
```

(Ici, *startsWith* est une méthode de *java.lang.String*). Ou, pour trouver les titres de tous les livres qui ont le mot "Program" dans leur titre :

```
for ( b ← books if containsString(b.title, "Program")
    ) yield b.title
```

(Ici, *containsString* est une méthode qu'il faut écrire, par ex. en utilisant la méthode *indexOf* de *java.lang.String*).

8

Ou, pour trouver les noms de tous les auteurs qui ont écrit au moins deux livres présents dans la base de données.

```
for ( b1 ← books;
      b2 ← books;
      if b1.title.compareTo(b2.title) < 0;
      a1 ← b1.authors;
      a2 ← b2.authors;
      if a1 == a2 ) yield a1
```

**Problème :** Que se passe-t-il si un auteur a publié 3 livres ?

**Solution :** On doit effacer les auteurs en double dans la liste des résultats.

On y arrive à la fonction suivante.

```
def removeDuplicates[A](xs: List[A]): List[A] =
  if (xs.isEmpty) xs
  else xs.head :: removeDuplicates(xs.tail filter (x => x != xs.head))
```

Il est équivalent de formuler la dernière expression ainsi

```
xs.head :: removeDuplicates(for (x ← xs.tail; if x != xs.head) yield x)
```

9

## Parenthèse : expressions de création d'objet

L'exemple précédent a montré une nouvelle façon de créer des objets :

```
new Book {
  val title = "Structure and Interpretation of Computer Programs"
  val authors = List("Abelson, Harald", "Sussman, Gerald.J")
}
```

Ici, le nom de la classe est suivi d'un *patron* (template).

Le patron est composé de définitions pour l'objet à créer.

Typiquement, ces définitions implément les membres abstraits de la classe.

C'est similaire aux *classes anonymes* de Java.

10

On peut voir une telle expression comme étant équivalente à la définition d'une classe locale et d'une valeur de cette classe :

```
{
  class Book' extends Book {
    val title = "Structure and Interpretation of Computer Programs"
    val authors = List("Abelson, Harald", "Sussman, Gerald.J")
  }
  (new Book'): Book
}
```

11

## Traduction de *for*

La syntaxe du *for* est étroitement liée aux fonctions d'ordre supérieur *map*, *flatMap* et *filter*.

Tout d'abord, ces fonctions peuvent toutes être définies en terme de *for*:

```
abstract class List[A] {
  ...
  def map[B](f: A => B): List[B] =
    for (x ← this) yield f(x)
  def flatMap[B](f: A => List[B]): List[B] =
    for (x ← this; y ← f(x)) yield y
  def filter(p: A => Boolean): List[A] =
    for (x ← this; if (p(x))) yield x
}
```

12

Ensuite, les expressions `for` peuvent elles-même être exprimées en termes de `map`, `flatMap` et `filter`.

Voici le schéma de traduction utilisé par le compilateur (on se limite ici aux motifs simples).

- Une expression `for` simple

```
for (x ← e) yield e'
```

est traduite en

```
e.map(x ⇒ e')
```

- Une expression `for`

```
for (x ← e; if f; s) yield e'
```

où `f` est un filtre et `s` est une séquence (potentiellement vide) de générateurs et de filtres, est traduite en

```
for (x ← e.filter(x ⇒ f); s) yield e'
```

(et la traduction continue avec la nouvelle expression).

13

- Une expression `for`

```
for (x ← e; y ← e'; s) yield e''
```

où `s` est une séquence (potentiellement vide) de générateurs et de filtres, est traduite en

```
e.flatMap(x ⇒ for (y ← e'; s) yield e'')
```

(et la traduction continue avec la nouvelle expression).

**Exemple :** Si on reprend notre exemple de couples de somme première :

```
for ( i ← List.range(1, n);  
      j ← List.range(1, i);  
      if isPrime(i+j)  
    ) yield (i, j)
```

voici ce qu'on obtient quand on traduit cette expression :

```
List.range(1, n)  
  .flatMap(  
    i ⇒ List.range(1, i)  
      .filter(j ⇒ isPrime(i+j))  
      .map(j ⇒ (i, j))
```

14

**Exercice :** Définir la fonction suivante en terme de `for`.

```
def concat[A](xss: List[List[A]]): List[A] =  
  xss.foldRight(List[A]())((xs, ys) ⇒ xs ::: ys)
```

**Exercice :** Traduire

```
for ( b ← books; a ← b.authors; if (a.startsWith "Bird") ) yield b.title  
for ( b ← books; if (containsString(b.title, "Program")) ) yield b.title
```

en fonctions d'ordre supérieur.

15

## Généralisation de `for`

De façon intéressante la traduction de `for` ne se limite pas aux listes ; elle repose uniquement sur la présence des méthodes `map`, `flatMap` et `filter`.

Cela donne au programmeur la possibilité d'avoir la syntaxe `for` pour d'autres types également – on doit seulement définir `map`, `flatMap` et `filter` pour ces types.

Il existe de nombreux types pour lesquels ceci est utile : les tableaux, les itérateurs, les bases de données, les données XML, les valeurs optionnels, les analyseurs syntaxiques, etc.

Par exemple, `books` pourrait ne pas être une liste, mais une base de donnée stockée sur un serveur quelconque.

Du moment que l'interface client de la base de données définit les méthodes `map`, `flatMap` et `filter`, on peut utiliser la syntaxe `for` pour exprimer des requêtes sur cette base de données.

16

Sujet de recherche active : De quoi a-t-on besoin pour rendre les langages *dimensionnables* (scalable), de telle manière qu'ils puissent subsumer les langages spécifiques à un domaine (parmi lesquels les langages de requête pour les bases de données tels que SQL ou XQuery) ?