

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.

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 $p \leftarrow e'$, 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.

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 $1 \leq j < i < n$, 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)
```

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.

- 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)
```

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 implantent les membres abstraits de la classe.

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

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
}
```

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
}
```

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 ($x \leftarrow e$) **yield** e'

est traduite en

$e.map(x \Rightarrow e')$

- Une expression `for`

for ($x \leftarrow e$; **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 ($x \leftarrow e.filter(x \Rightarrow f)$; s) **yield** e'

(et la traduction continue avec la nouvelle expression).

- Une expression `for`

for ($x \leftarrow e$; $y \leftarrow e'$; s) **yield** e''

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

$e.flatMap(x \Rightarrow \mathbf{for} (y \leftarrow e'; s) \mathbf{yield} e'')$

(et la traduction continue avec la nouvelle expression).

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

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

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

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

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.

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.

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) ?