Révisions : valeurs, variables, . . . , Listes

Luc.Maranget@inria.fr
http://www.enseignement.polytechnique.fr/profs/informatique/Luc.Maranget/421/

Objectifs

- Structures de données « dynamiques ».
  - Listes, tables de hachage, arbres...
  - Et leurs algorithmes traditionnels, (recherches par exemple).

- Perfectionnement en programmation.
  - Programmer c'est comprendre (vraiment).
  - Programmation des structures de données récursives.
  - Choix des structures de données, (exemples « realistes »)

Organisation du cours

- 9 blocs, soit 9 vendredis.
  - Le matin, amphi, de 10h30 à 12h00.
  - L'après-midi, TP.
- Évaluation.
  - TP noté, (le cinquième).
  - Contrôle classant, à la fin.
  - Note de module :

$$\frac{3 * CC + \max(CC, HC - k)}{4} \rightarrow \text{lettre}$$

Quelques éléments de Java

- Qu'est-ce au juste qu'une valeur ?
  - Scalaires
  - Objets
- Qu'est-ce au juste qu'une variable ?
  - Création et initialisation.
  - Appel de méthode
  - Portée
- Allocation dynamique
  - Les tableaux.
  - Les paires.
  - Les listes.

Les valeurs

- Les scalaires.
  - ▷ Les booléens : **boolean** (**true** et **false**).
  - ▷ Les entiers : **byte** (modulo 2^8), **char** et **short** (modulo 2^{16}), **int** (modulo 2^{32}), **long** (modulo 2^{64}).
  - ▷ Les flottants : **float** (simple précision), **double** (double précision).
- Les objets : tout le reste ! Les objets appartiennent à des *classes* qui sont plus ou moins leur type.
  - ▷ Les un peu spéciaux : `String`, les tableaux...
  - ▷ Les objets de classses de la librairie : par ex. `System.out` de la classe `PrintStreamWriter`.
  - ▷ Ceux que l'on fait soi-même (en définissant leur classe et par **new**).

Déclaration: avec et sans initialisation

```
int x = 1 ;
```

- « **int** `x` » est la *déclaration* : une variable (qui contient un **int**) est créée.
- « `= 1` » est l'initialisation : la valeur initiale de la variable est `1`.

Ne pas confondre déclaration avec initialisation et *affectation*.
Même si la syntaxe est très semblable.

```
int x = 1 ; // Création avec initialisation.
x = 2 ;     // Changer le contenu
int y ;     // Création tout court
```

Remarque : Quelle est la valeur initiale de la variable y ?
On ne peut pas le savoir !

Variables locales

Les variables locales sont :

- Déclarées dans le corps des méthodes,
- Ou bien ce sont les paramètres des méthodes.

Le compilateur vérifie « l'initialisation » des variables locales.

```
class T {
  static int f(int x) {
    int y ;
    if (x != 0) y = 1 ;
    return x + y ;
  }
}
```

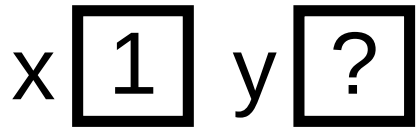
```
# javac T.java

T.java:5: variable y might not have been initialized
```

Les variables sont « des cases »

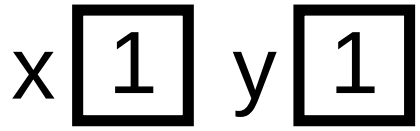
Deux déclarations de variable.

```
int x=1, y ;
```



Une affectation.

```
y = x ;
```



On remarque que :

- À gauche du =, une variable → une case.
- À droite du =, une variable → le contenu d'une case.

Appel de méthode

Le principe est le suivant :

- Chaque *appel* de methode crée ses propres variables.
- Les variables sont initialisés par l'appel.

```
static int f(int x) {
   x = x + 2 ;
   return x ;
}

public static void main (String [] arg) {
  int x = 2 ;
  int r = f(x) ;
  System.out.println("f(" + x + ") = " + r) ;
}
```

Résultat : `f(2) = 4`

Avec des boites

```
static int f(int x) {
   x = x + 2 ;
   return x ;
}
```

Au début de l'appel de méthode :

Juste avant le **return** :

Portée

La portée d'une variable est la zone du code où on peut l'utiliser, autrement dit, la zone de visibilité.

Dans l'exemple précédent, les portées des deux variables `x` étaient clairement limitées aux corps des méthodes `main` et `f`.

La portée est structurée selon les *blocs*, en gros délimités par `{...}`.

Quelques règles importantes :

- La portée s'étend de la déclaration de la variable à la fin du bloc de déclaration.
- Dans un même bloc, il ne peut pas y avoir deux variables de même nom.
- L'usage d'une variable fait référence à la déclaration la plus proche vers le haut du programme (liaison lexicale).

Exemple de portée I

Que penser de :

```
static int f() {
  for (int i = 0 ; i < 10 ; i++) { ... }
  return i ;
}
```

Ce code est incorrect, car dans l'instruction **return** `i`, la variable `i` ne fait référence à aucune déclaration visible.

Note : On peu considérer que la boucle **for** est plus ou moins équivalente à :

```
  { int i = 0 ;  // NB. un bloc est ouvert
    while (i < 10) { ...
      i++ ;
    }
  }
```

Portée, II

Que se passe-t-il si on appelle `f(4)` ?

```
static int f(int x) {
  { int x = 2 ;
    System.out.print("x = " + x) ;
  }
  System.out.println(", x = " + x) ;
}
```

Ce programme est correct. Il affiche :

```
x = 2, x = 4
```

Il y a en fait deux variables, `x` et `x`.

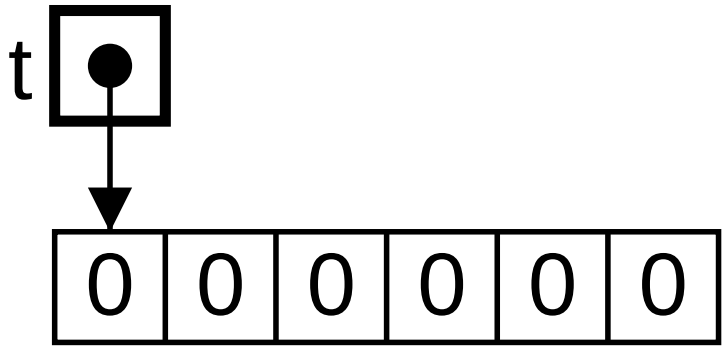
On peut très bien changer `x` (ou `x`) en `y`, sans rien changer au fond. Les variables (locales) sont un peu comme les variables muettes des mathématiques.

Un tableau avec les boites

Un tableau de taille n est (plus ou moins) une grosse case composée de n cases « normales ».

```
int [] t = new int[6] ;
```

Mais la valeur du tableau est une flèche (référence, pointeur, adresse) vers la grosse case.



Note : Les cases du tableau sont initialisés par défaut.

Valeur par défaut

Les cases des tableaux ont une valeur par défaut.

- Scalaires : une espèce de zéro.
  - **boolean** : c'est... **false**.
  - Autres scalaires : c'est bien zéro.
- Objets : **null**.

Notons que **null** est un objet un peu spécial. Il appartient à toutes les classes, mais on ne peut rien faire avec, sauf :

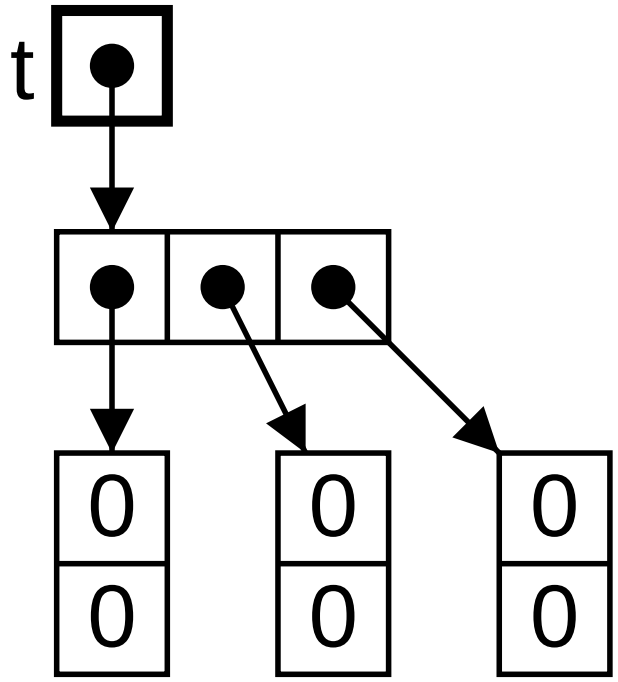
- L'affecter, par ex. `String s =` **null**
- Le comparer, par ex. **if** `(s !=` **null**`)`...

La deuxième dimension

Une matrice à 3 lignes et 2 colonnes.

```
int [] [] t = new int [3][2] ;
```

Est en fait un tableau de trois tableaux de deux entiers.

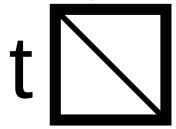


Et null dans tout ça ?

Logiquement, les tableaux sont initialisés par défaut à **null**.

```
int [] t // = null ;
```

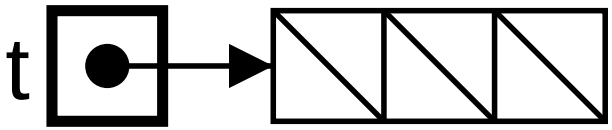
La valeur **null** remplace une flèche, mais ne pointe nulle part.



L'initialisation par défaut vaut aussi pour les cases de tableau.

```
int [][] t = new int[3][] ; // tableau de tableaux
```

Soit : un tableau de trois **null**.



Les tableaux sont alloués « dynamiquement »

Cela veut dire que leur place est calculée/allouée lors de l'exécution.

```
static int [] f(int n, int x0) {
  int [] r = new int [n] ;
  for (int i = 0 ; i < n ; i++) { r[i] = x0 ; }
  return r ;
}
```

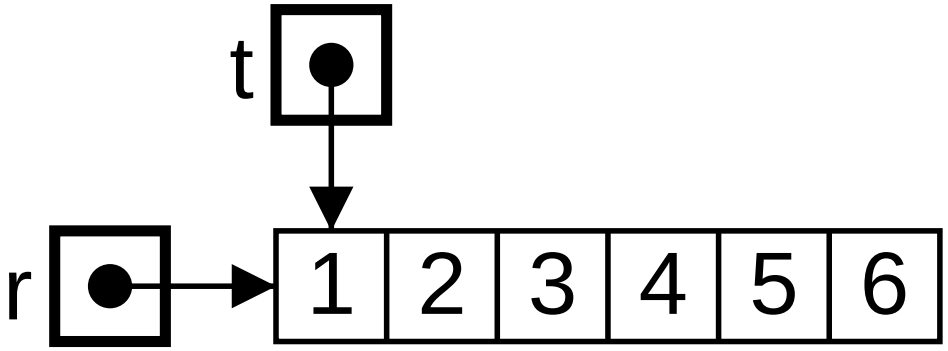
En outre, l'allocation est effectuée dans le « tas ».

- Le tableau existe encore après le retour de la méthode `f` (contrairement à la variable `r`).
- Il n'y a pas lieu de libérer explicitement la place occupée lorsque le tableau devient inutile (GC).

Les valeurs des tableaux sont des flèches

```
int [] t = {1, 2, 3, 4, 5, 6} ; // Initialisation explicite
int [] r = t ;
```

Dans `r = t` c'est la flèche qui est copiée.



De sorte que ici `t[2]` et `r[2]` désignent la même case (la troisième).

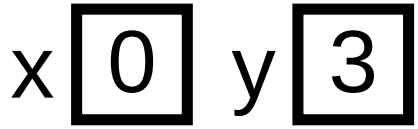
```
t[2] = 0 ; // ranger 0 dans la case désignée
System.out.println(r[2]) ; // Affiche '0'
```

À comparer avec

La copie du contenu de variables de type scalaire.

```
int x = 3, y = x ;
```


```
x = 0 ; System.out.println(y) ; // Affiche '3'
```

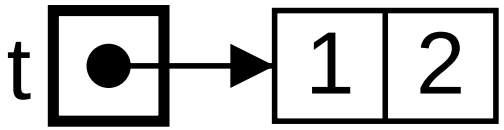


Car ici `x` et `y` sont deux cases différentes.

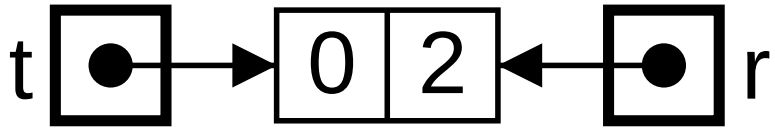
Appel de méthode

Les valeurs sont bien copiées, mais ce sont des flèches.

```
static void f(int [] r) { r[0] = 0 ; }
```




```
int [] t = { 1, 2 } ;
System.out.println(t[0]) ; // Affiche '1'
f(t) ;
System.out.println(t[0]) ; // Affiche '0'
```



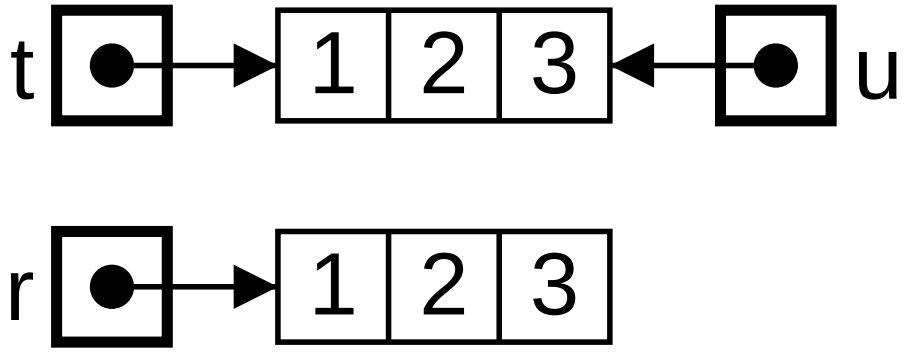
Égalité « physique »

L'égalité `==` est l'égalité des valeurs.

- Pour les scalaires aucun problème !
- Pour les objets, attention ! Les valeurs sont les flèches.

```
int [] t = {1, 2, 3} , r = {1, 2, 3} ; // Deux variables.
int [] u = t ;
System.out.println((t == r) + ", " + (t == u)) ;
```

Le résultat est **false , true**, car



Égalité « structurelle »

Pour savoir si deux tableaux sont identiques (et non plus exactement le même). On utilise o_1`.equals(`o_2`)`.

```
int [] t = {1, 2, 3} ;
boolean b = t.equals(new int [] {1, 2, 3}) // tableau « anonyme »
System.out.println(b) ;
```

Affiche **true**.

Résumé :

- L'égalité physique `==` expose l'implémentation.
- L'égalité structurelle est plus « mathématique ».

Les chaînes sont des objets...

Mais des objets un peu particuliers.

```
class Coucou {
  public static void main(String [] arg) {
    System.out.println("coucou" == "coucou") ;
    System.out.println(arg[0] == arg[1]) ;
  }
}
```

La commande « `java Coucou coucou coucou` » affichera :

```
true
false
```

Un conseil donc, utiliser `equals`, même sur les chaînes.

Affichage

Nous savons afficher des scalaires et des chaînes.

```
System.out.println(1 + " " + true + ...) ;
```

Mais savons nous afficher des « objets » ?

```
int [] t = {1, 2} ;
System.out.println(t) ;
```

Affiche : `[I@a16869`, c'est la flèche (l'adresse) qui est affichée !

Pour afficher un tableau, il faut écrire une boucle :

```
static void print(PrintStream out, int [] t) {
  for (int i = 0 ; i < t.length ; i++) {
    out.print(" " + t[i]) ;
  }
} // Appel : print(System.err, new [] {1, 2}) ;
```

Fabriquons nos propres structures de données

Par exemple une paire (de deux **int**):

```
class Pair {
  int x, y ; // Variables d'instance ou champs

  Pair (int x0, int y0) { // Constructeur
    x = x0 ; y = y0 ;
  }
}
```

La classe ci dessus est un patron pour créer des objets, par :

```
Pair p = new Pair (1, 2) ;
```

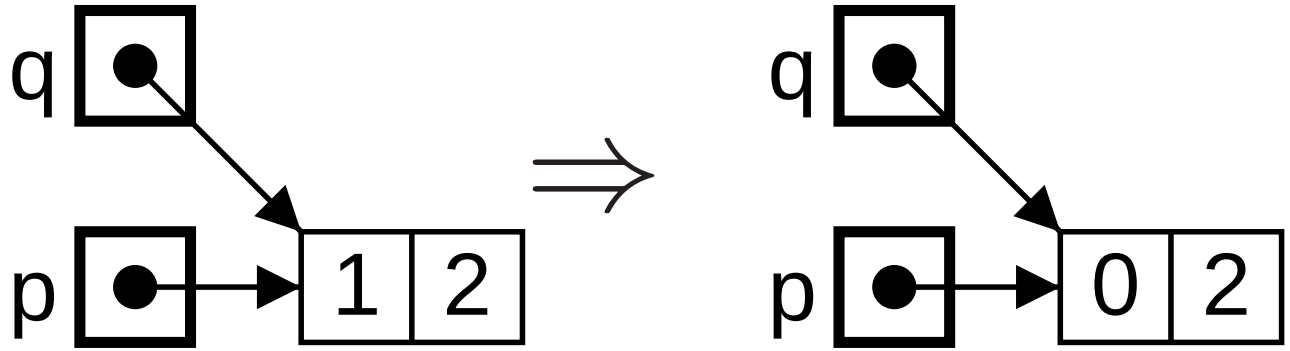
Important : L'ecriture avec constructeur est meilleure que :

```
Pair p = new Pair () ; // Constructeur par défaut
p.x = 1 ; p.y = 2 ;
```

Les valeurs des objets sont des références

Et tout ce qui s'appliquait au tableaux reste vrai.

```
Pair p = new Pair (1, 2) ;
Pair q = p ;
q.x = 0 ;
System.out.println(p.x) ; // Affiche '0'
```



Comment afficher les paires

Ou début de programmation objet.

- Si `out` est un `PrintStream`, et o un objet, le code `out.print(`o`)`, revient à afficher la chaîne renvoyée par l'appel de méthode o`.toString()`.
- Par défaut, o`.toString()` affiche la valeur de o (une flèche).

  `out.print(`**new** `Pair(1,2))` $\Rightarrow$ `Pair@6f0472`
- Mais on peut *redéfinir* la méthode `toString` (dans la classe `Pair`).

```
public String toString() { // pas de static
  return "[x=" + x + ",y=" + y + "]" ;
}
```

  Dès lors,

  `out.print(`**new** `Pair(1, 2))` $\Rightarrow$ `[x=1,y=2]`

Résumé sur les classes

Une classe C « pour faire des objets o » comprend :

- Un (ou des ou pas du tout) constructeur homonyme au nom de la classe. On crée un objet o par :

$$\textbf{new}\ C(\ldots)$$

- Des (ou une ou pas du tout) variables x, que l'on réfère par :

$$o\,.\,x$$

- Des (ou une ou pas du tout) méthodes f, que l'on appelle par :

$$o\,.\,f(\ldots)$$

Plus compliqué :

- Pour le moment : **static** nulle part.
- L'objet peut posseder des méthodes pré-existantes, qui peuvent être redéfinies.

Surcharge (*Overloading*)

Il est possible de définir plusieurs constructeurs, à condition que leurs *arguments* soient de types distincts.

```
class Pair {
  int x, y ;

  Pair() { // Constructeur de l'origine
    x = 0 ; y = 0 ; // Autant insister (init. par défaut)
  }

  Pair (int x0, int y0) {
    x = x0 ; y = y0 ;
  }
}
```

- Cela fonctionne aussi pour les méthodes.
- Tout ce passe comme si le type des arguments faisait partie du nom des constructeurs/méthodes.

Visibilité des variables d'instance

La règle des blocs semble rester valable :

```
class Pair {
  int x, y ; // Déclaration

  Pair (int x0, int y0) {
    x = x0 ; y = y0 ;
  }

  public String toString() {
    return "(" + x + ", " + y + ")" ;
  }
}
```

Visibilité des variables d'instance II

Mais en fait, c'est un peu différent, la portée des variables d'instance s'étend sur l'ensemble de l'objet.

```
class Pair {
  Pair (int x0, int y0) {
    x = x0 ; y = y0 ;
  }
  ...
  int x, y ; // Déclaration
}
```

En outre, on a aussi droit à `p.x` à peu près n'importe où... (à condition de ne pas spécifier **private int** `x`)

Visibilité des variables d'instance III

En fait la notation des variables d'instance comme des variables normales est une commodité.

La référence `x` dans le constructeur ou dans une méthode est une abréviation pour **this**`.x`.

Où **this** est l'objet construit ou dont on a appelé la méthode.

Cela permet le style :

```
class Pair {
  int x, y ; // Déclaration

  Pair (int x, int y) {
    this.x = x ; this.y = y ;
  }
  ...
}
```

La liste

Le tableau même dynamique est encore un peu rigide.

- Typiquement, il faut connaître la taille du tableau à l'avance.

Mais considérons une « liste » de courses :

- Typiquement, nous ajoutons les articles à acheter, un par un, sans savoir combien il y en aura.

  Tant qu'il y a du papier…

- Lorsque nous faisons les courses, pour ne rien oublier, nous pouvons acheter les articles dans l'ordre de la liste.

Une analogie plus exacte, est un « carnet de courses » : un article par page !

Soyons plus précis

Une liste est :

- Soit vide,
- Soit un premier article et le reste de la liste.

Le plus simple est de procéder ainsi :

- La liste vide est **null**.
- La cellule de liste est un objet de la classe :

```
class List {
  String val ;
  List next ;
}
```

```
List moi =  new List("patates", new List("thon", null)) ;
List elle = new List("laitue", new List("boulgour", null)) ;
```

La liste dans la mémoire

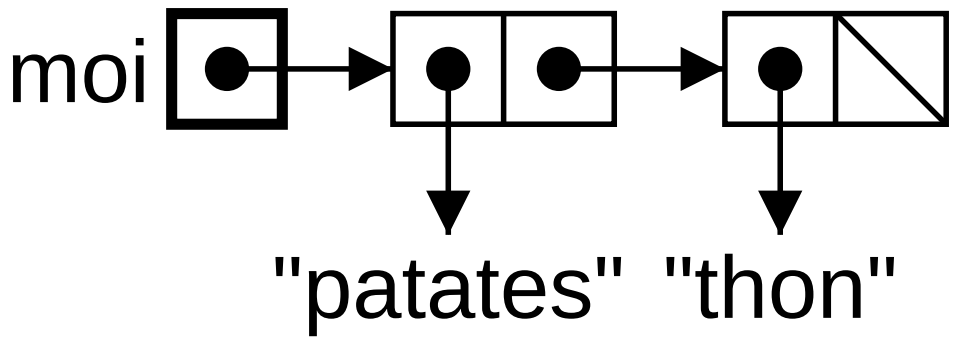
Une valeur de type `List` est

- Une référence vers une cellule de `List` (pointeur, addresse).
- Ou bien la référence **null** qui ne pointe nulle part.

Une cellule de liste comporte :

- L'élément en tête de liste (champ `val`).
- Et un le reste de la liste (champ `next` de type `List`).

```
List moi = new List("patates", new List("thon", null)) ;
```



Intermède

On veut afficher les listes : peut-on y arriver en redéfinissant `toString` ?

Non ! Pourquoi ?

Parce que **null** est une liste valide, et que **null**`.toString()` ne fonctionne pas.

```
List pasFaim = null ;
System.out.println(pasFaim) ;
```

Affiche `null`, car la méthode `println` est du genre.

```
void println(... p) {
  if (p == null) {
    printString("null") ;
  } else {
    printString(p.toString()) ;
  }
}
```

Afficher une liste

Il faut employer une méthode statique.

```
static void print(List p) {
  for (List q = p ; q != null ; q = q.next) {
    System.out.println(q.val) ;
  }
}
```

Remarque Ce genre de boucle **for** est la façon « idiomatique » de parcourir une liste.

Quoi de neuf ?

C'est comme la paire, sauf...

```
class List {
  ...
  List next ;
}
```

... que la liste est une structure de donnée récursive.

- Les listes de courses sont solution de l'équation :

$$L = \textbf{null} \uplus (\texttt{String} \times L)$$

- La programation sur les listes est « naturellement » récursive.

Programmation naturellement récursive

Fabriquer une nouvelle liste de courses avec deux listes de courses.

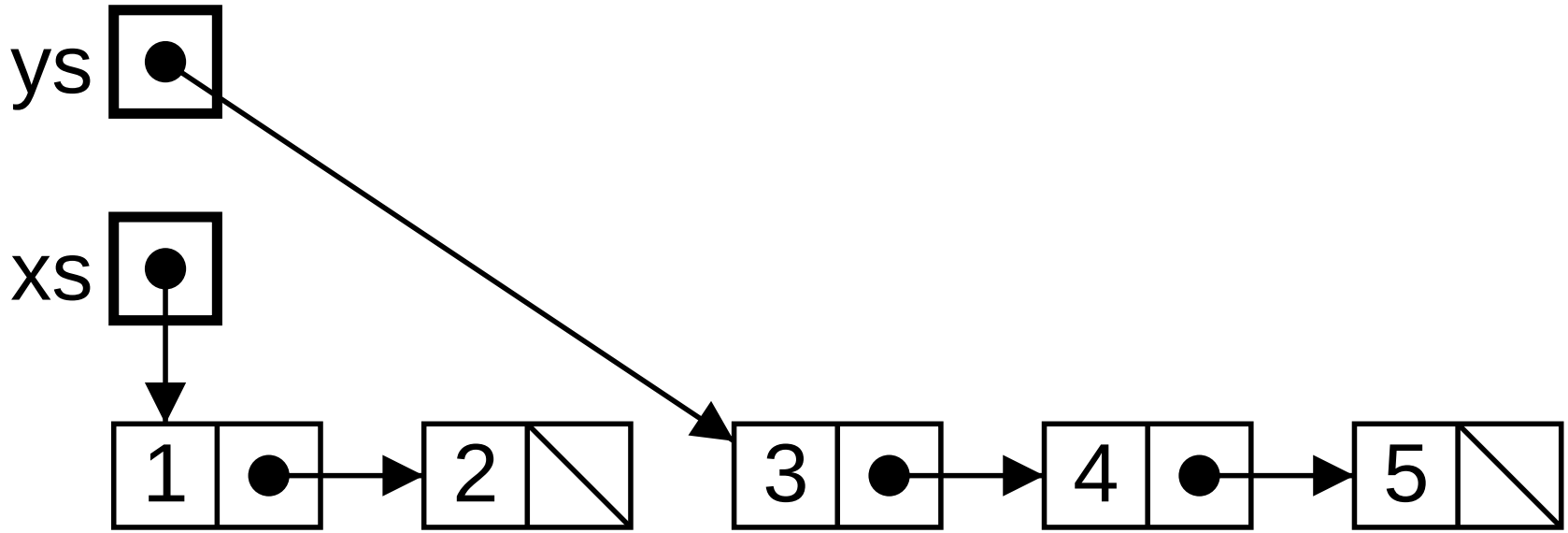
```
List courses = List.append(moi, elle) ;
```

On peut exprimer `append` par des équations (récursives), en notant $\emptyset$ la liste vide et $(a; L)$ une liste non-vide.

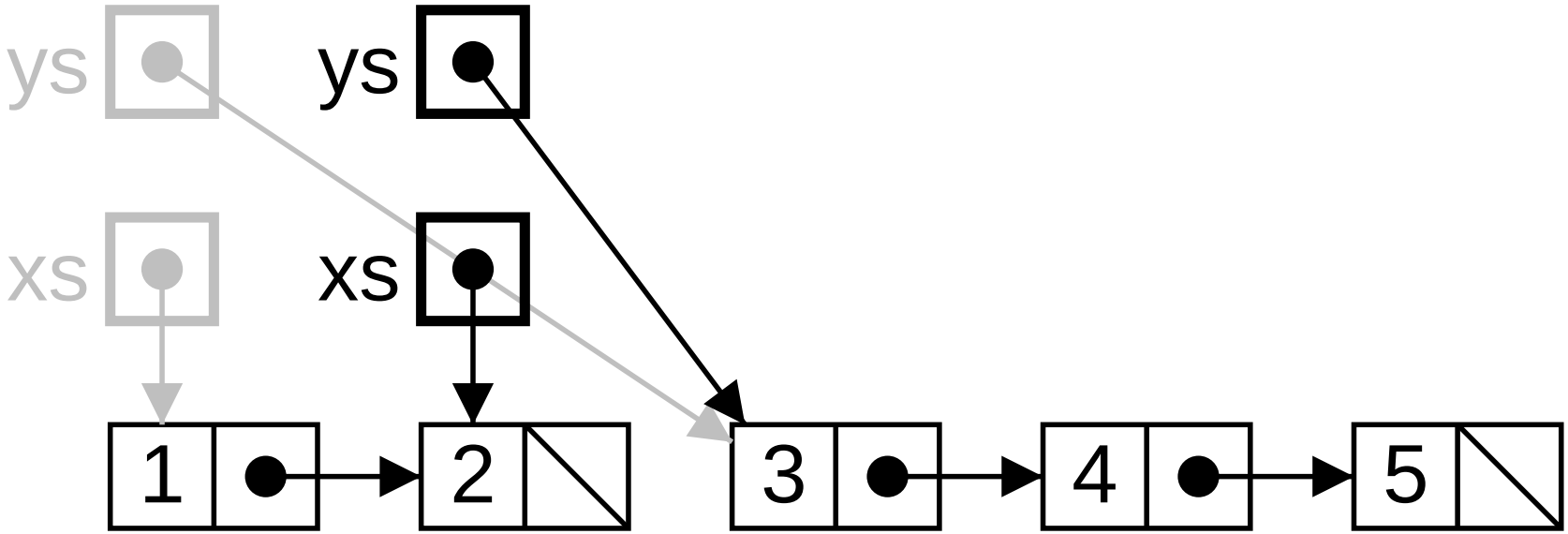
$$\begin{aligned} A(\emptyset, M) &= M \\ A((a; L), M) &= a;\ A(L, M) \end{aligned}$$

```
static List append(List p, List q) {
  if (p == null) {
    return q ;
  } else {
    return new List(p.val, append(p.next, q)) ;
  }
}
```

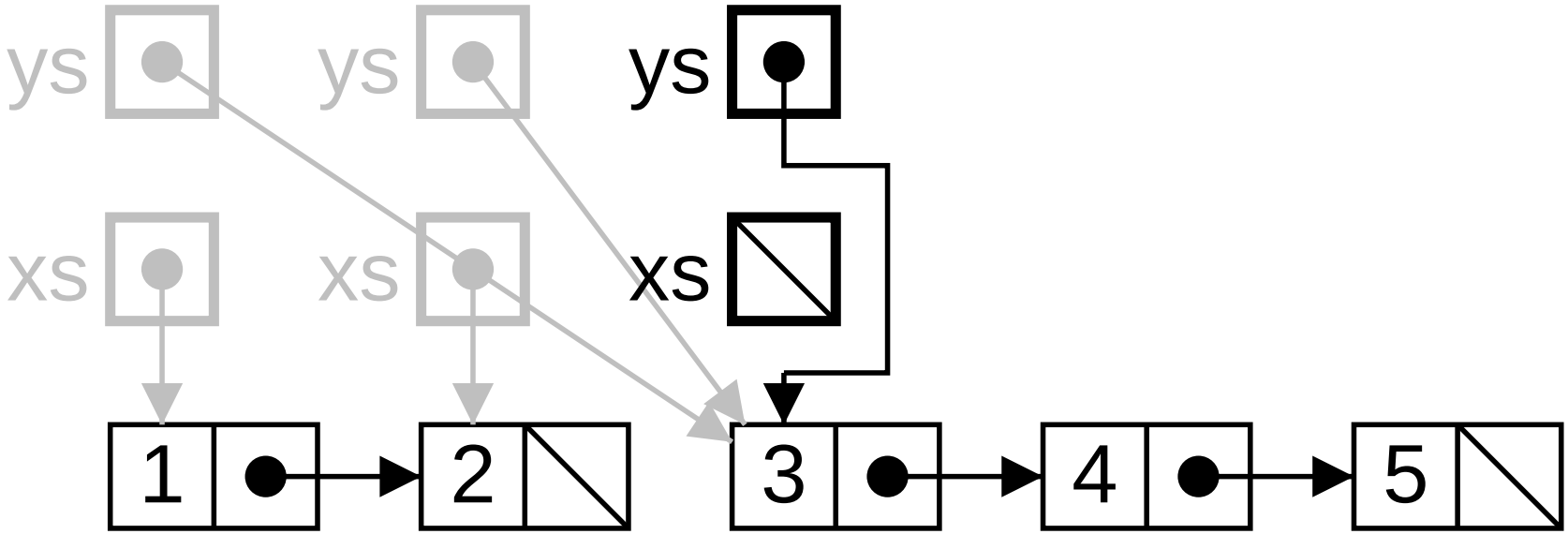
Premier appel



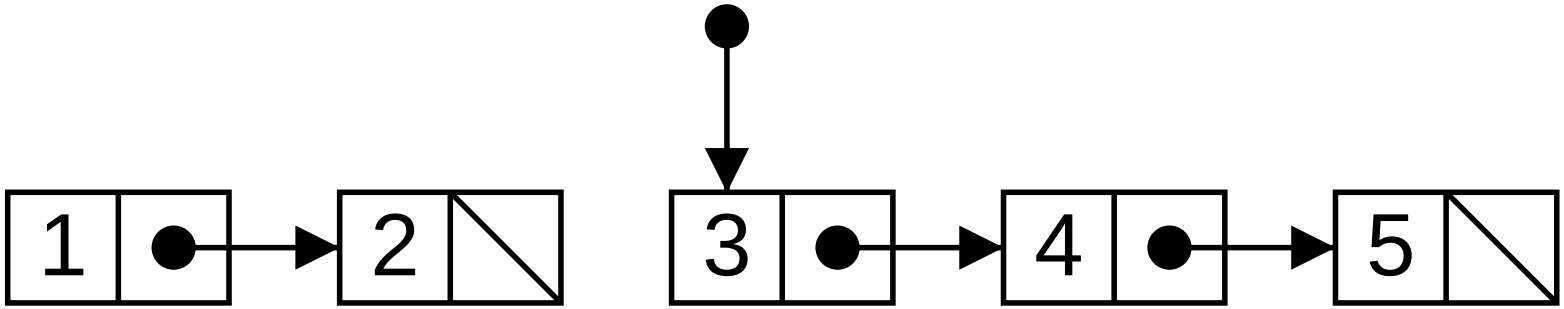
Deuxième appel



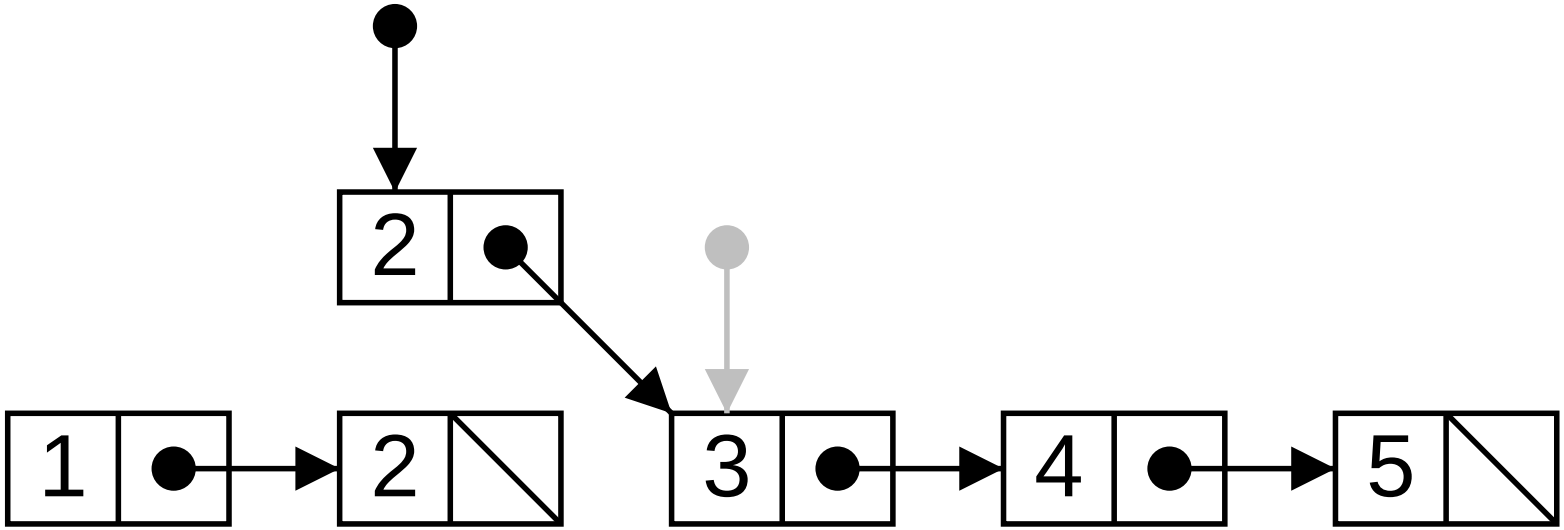
Troisième appel



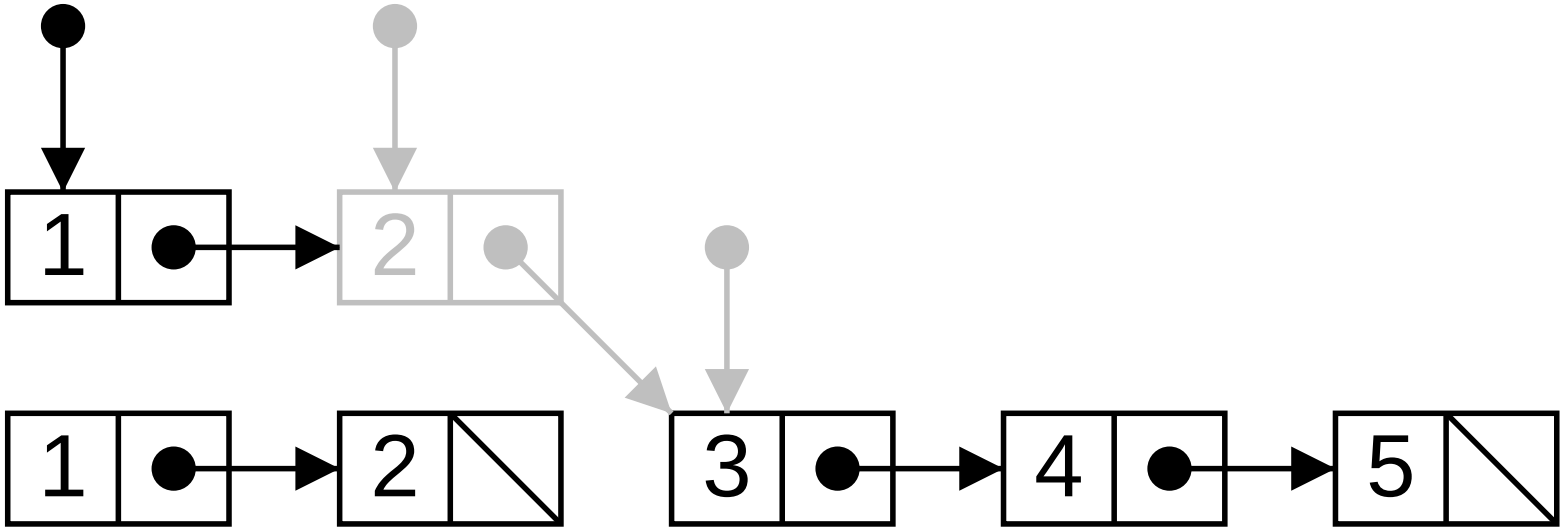
Retour du troisième appel



Retour du deuxième appel



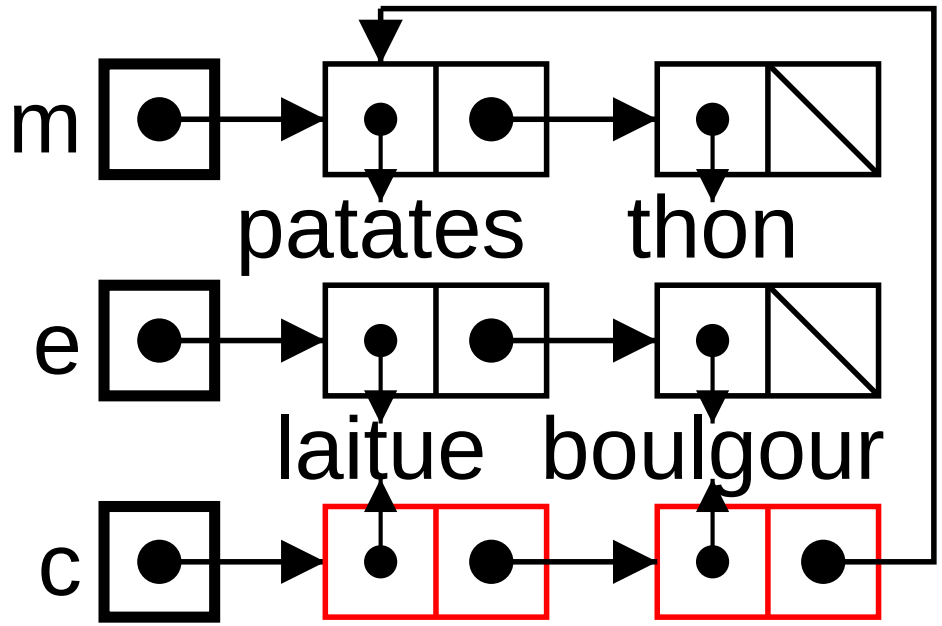
Retour du premier appel



Situation finale

```
List courses = List.append(elle, moi) ;
```

La liste `courses` est *"laitue"*; *"blougour"*; *"patates"*; *"thon"*



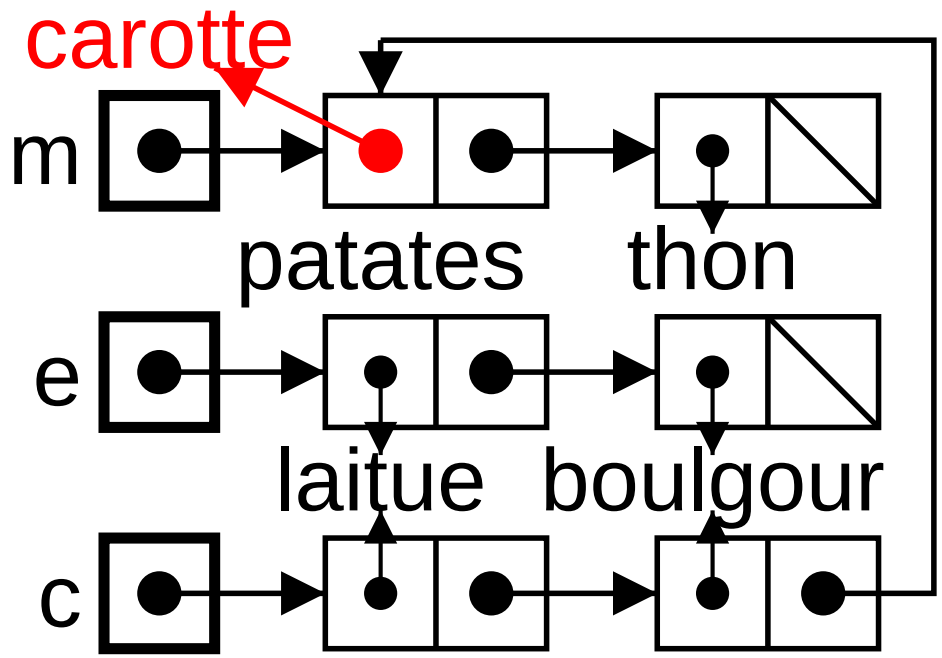
Important : La liste `elle` n'a pas changé. Structure *persistante*.

Moins important : Les cellules de `elle` sont copiées.

Et si je change d'avis

```
moi.val = "carottes" ;
```

Situation :

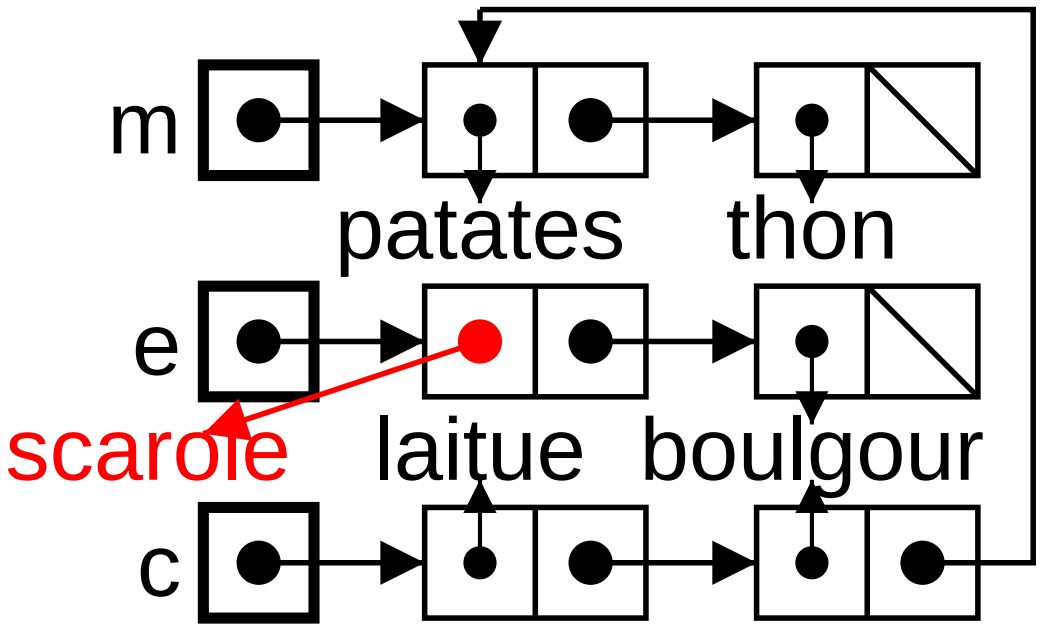


Conclusion : `moi` devient *`"carotte"`*; *`"thon"`* et `courses` devient *`"laitue"`*; *`"boulgour"`*; *`"carotte"`*; *`"thon"`*.

Et si elle change d'avis ?

```
elle.val = "scarole" ;
```

Situation :

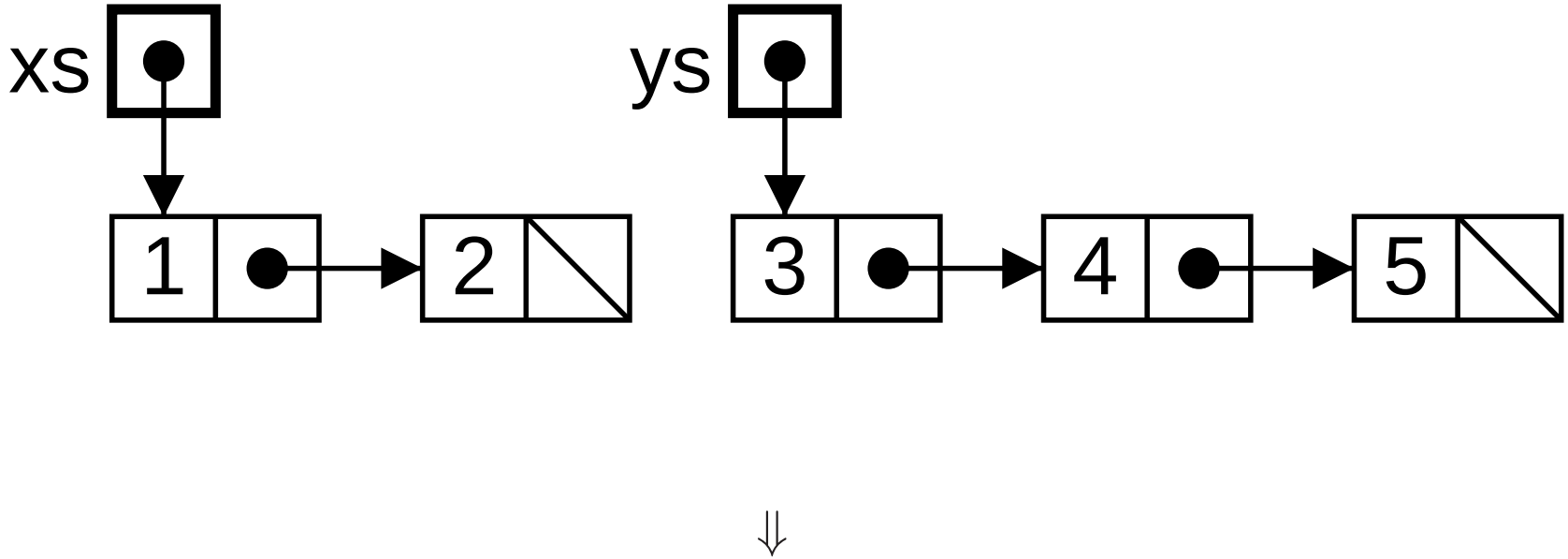


Conclusion : `courses` ne change pas.

Conclusion

La mutation est incompatible avec les structure persistantes.

J'aime les chose délicates



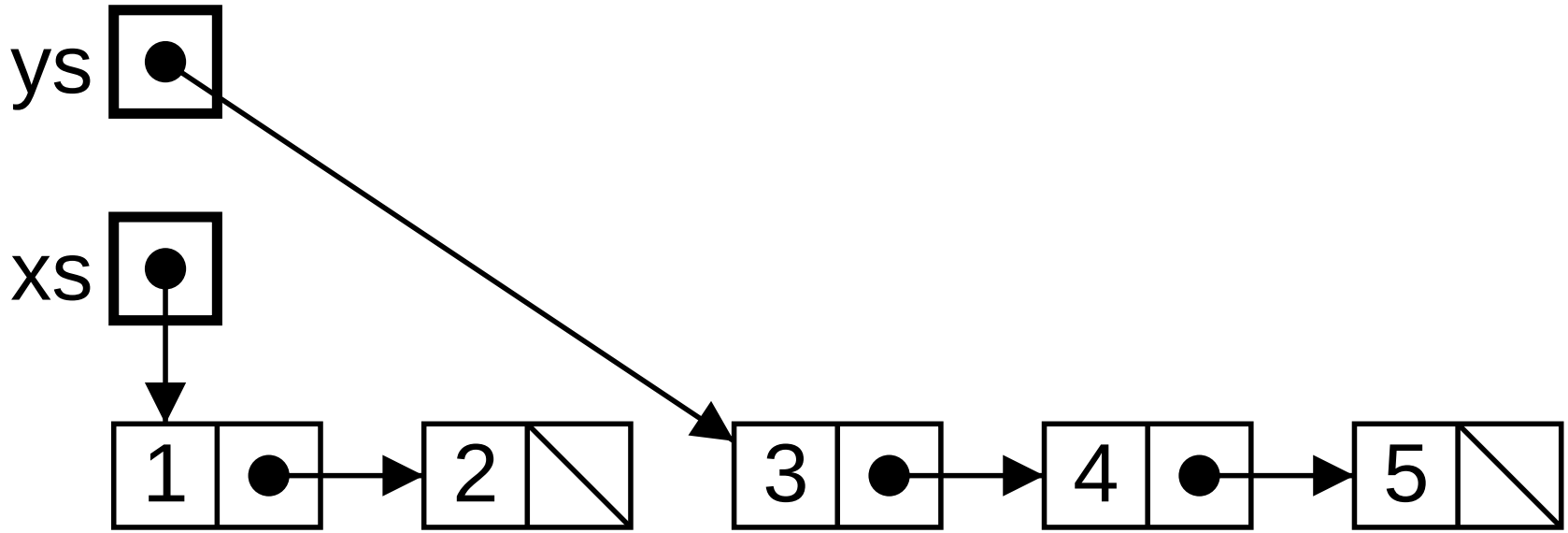
Concaténer en place

La fonction `nappend` concatène les listes « en place »

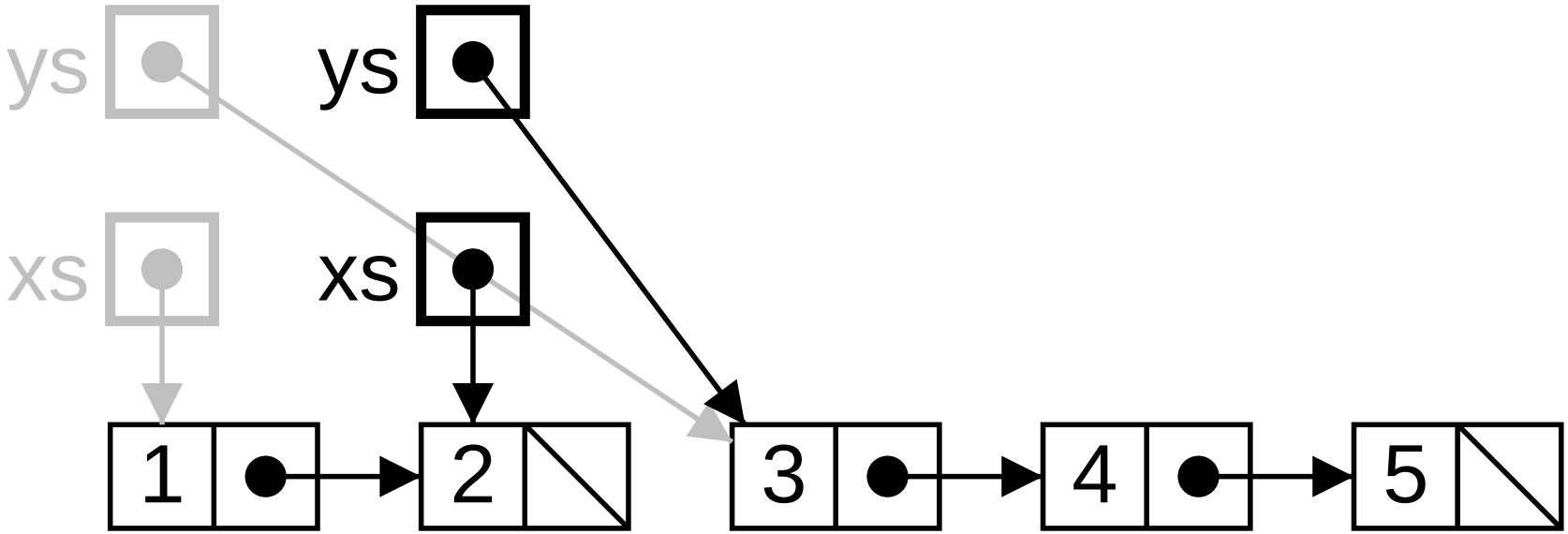
Elle s'écrit facilement, en remplaçant les allocations de cellules de `append` par des mutations du champ `next`.

```
static List nappend(List xs, List ys) {
  if (xs == null) {
    return ys ;
  } else {
    xs.next = nappend(xs.next, ys) ;
    return xs ;
  }
}
```

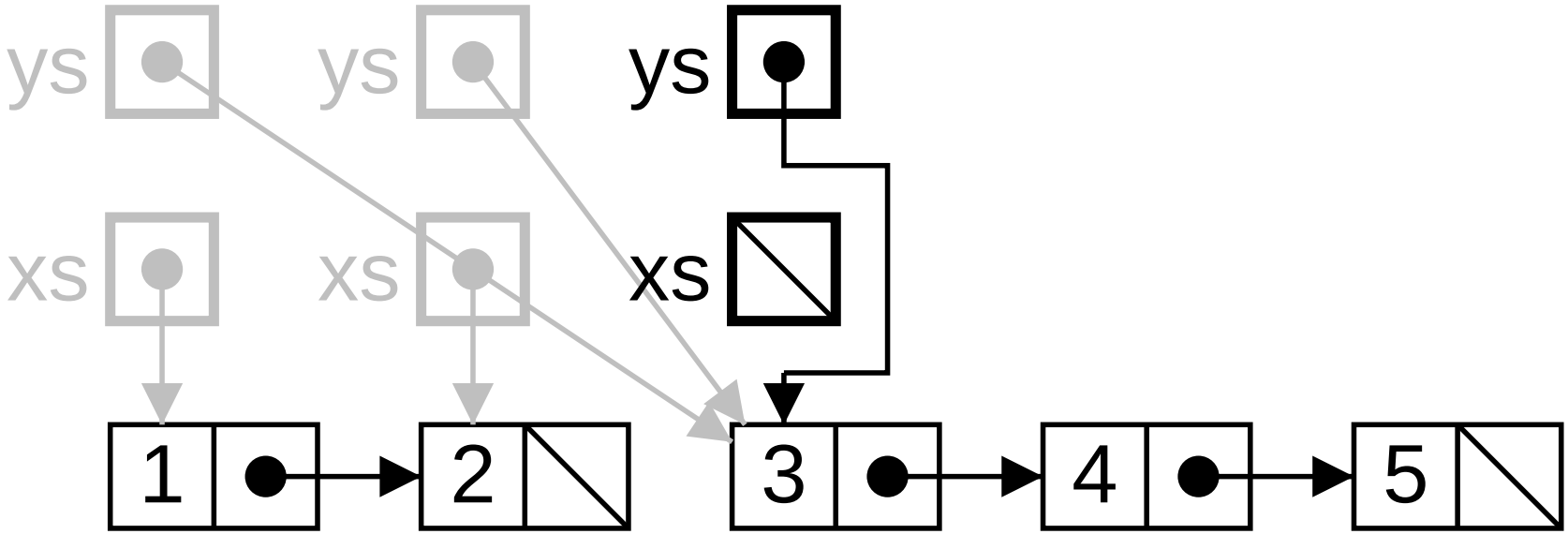
Premier appel



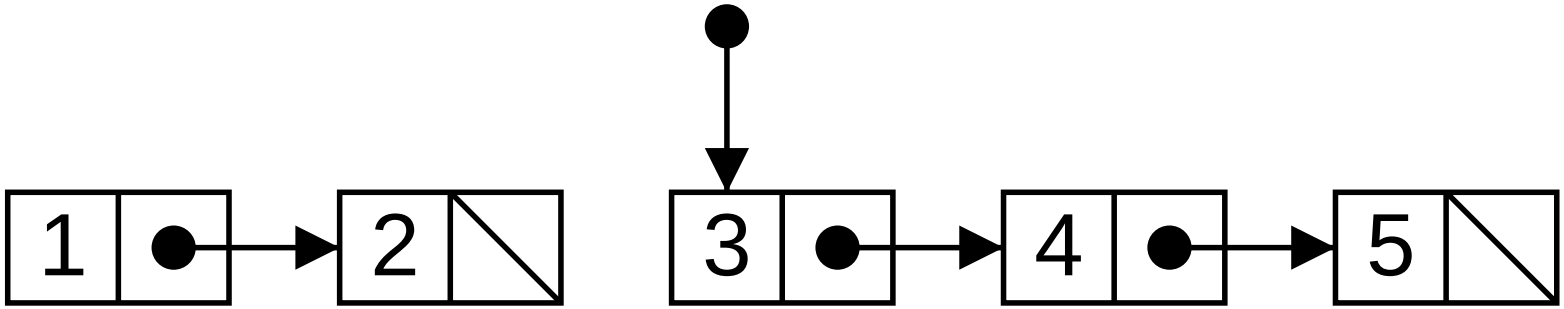
Deuxième appel



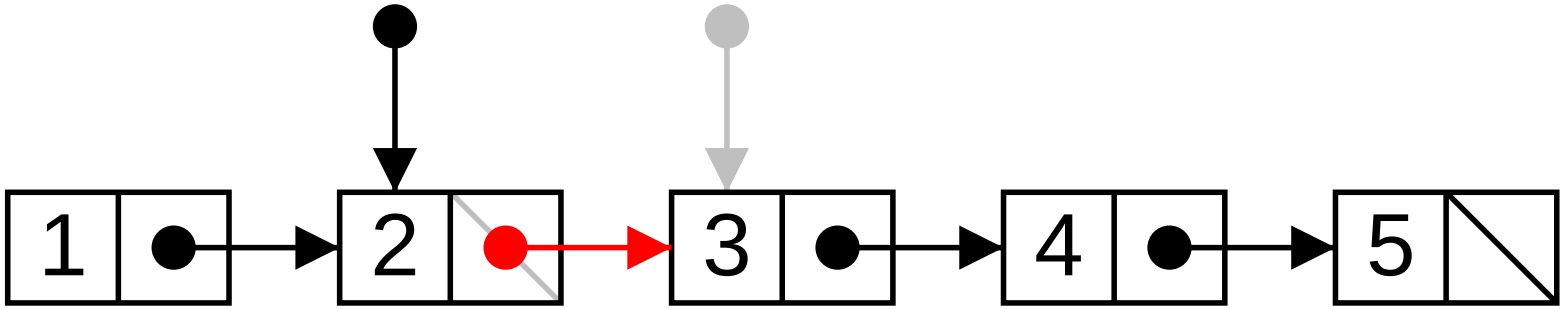
Troisième appel



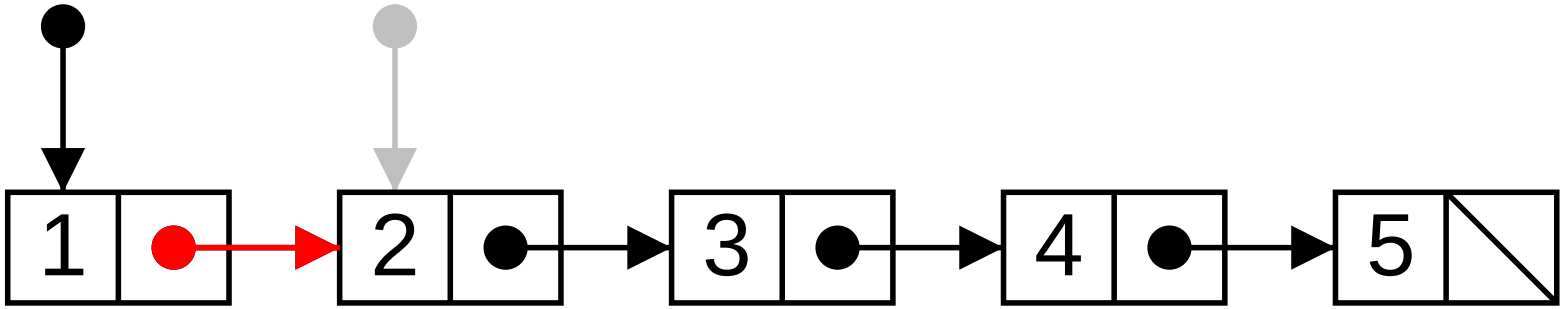
Retour du troisième appel



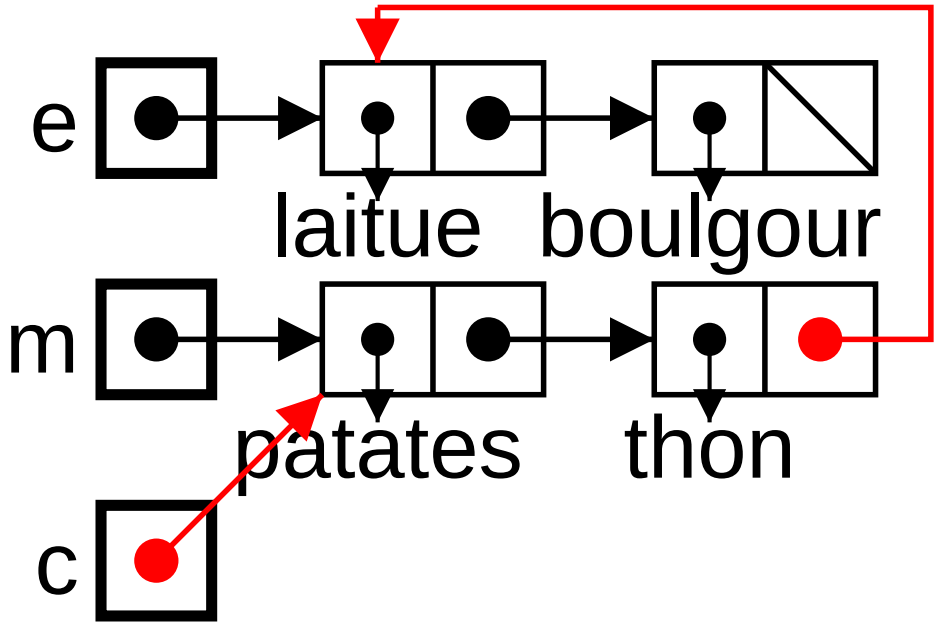
Retour du deuxième appel



Retour du premier appel



Résultat (des courses en place)

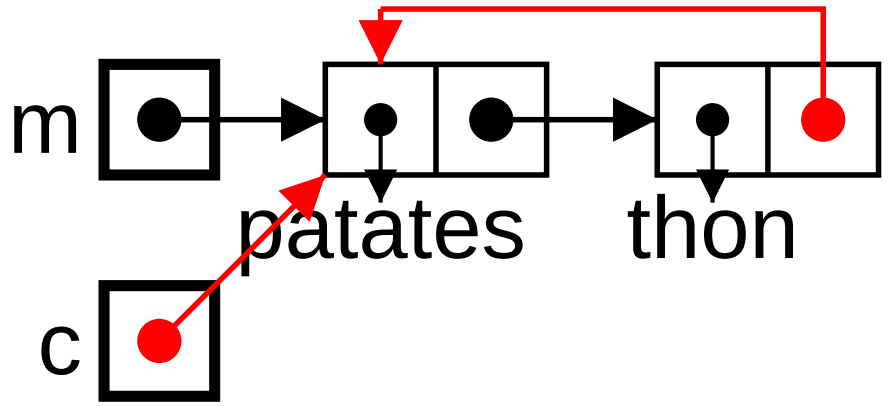


Danger principal La liste pointée par `moi` a « changé ». Car une de ses cellules a été « mutée ».

Un second problème

Écrivons

```
List courses = List.nappend(moi, moi) ;
```



- Une liste circulaire, l'interprétation récursive devient douteuse (plus de **null**).
- Les strutctures mutables sont délicates.

Programmation itérative

Comment `nappend` fonctionne-elle ?

- Trouver la dernière cellule de `xs`.
- Faire pointer son champ `next` vers `ys`.

```
static List nappend2(List xs, List ys) {
  if (xs == null) return ys ;
  List zs = xs ;
  for ( ; zs.next != null ; zs = zs.next) ;
  zs.next = ys ;
  return xs ;
}
```

Programmation itérative de append

Comment append fonctionne-elle ?

- Copier (la liste référencée par) xs dans l'ordre.
- En remplaçant **null** par ys.

```
static List append2(List xs, List ys) {
  if (xs == null) return ys ;
  List r = new List (xs.val,null) ;
  List zs = r ;
  for ( xs = xs.next ; xs.next != null ; xs = xs.next) {
    zs.next = new List (zs.val, null) ;
    zs = sz.next ;
  }
  zs.next = ys ;
  return r ;
}
```

Les structures de données dynamiques

Nature des structures de données :

- Persistantes (ou fonctionelles, ou non-mutable).
- Mutables (ou impératives, ou en place).

Le choix persistant/mutable est un choix de fonctionalité. Il doit être conscient et influence l'ensemble du programme.

Style de programmation :

- Récursif.
- Itératif (avec des boucles).

Le choix récursif/itératif est un choix d'efficacité, compromis facilité d'écriture/efficacité du programme.

Résumé

On peut définir *quatre* catégories. Selon la nature des structures de données et le style de programmation.

	Persistant	**Mutable**
Récursif	`apppend`	`nappend`
Itératif	`append2`	`append2`

Et notez bien que le tableau des transparents papier est faux.

Question subsidiaire Comment obtenir une concaténation non-destructive avec `nappend` ?

```
static List appendBizarre(List xs, List ys) {
   List zs = copy(xs) ; // Copier xs qui va être modifiée
   return nappend(zs, yz) ;
}
```