

# Chapitre 1

## Listes chaînées

### 1.1 La notion de liste

Une *liste* est une structure de données qui permet de stocker une séquence d'objets d'un même type. En cela, les listes ressemblent aux *tableaux*. La séquence d'entiers 3, 7, 2, 4 peut être représentée à la fois sous forme de tableau ou de liste. La notation [3, 7, 2, 4] représentera la liste qui contient cette séquence.

Il y a cependant des différences fondamentales entre listes et tableaux :

- Dans un tableau on a accès immédiat à n'importe quel élément par son indice (accès dit *aléatoire*), tandis que dans une liste chaînée on a accès aux éléments un après l'autre, à partir du premier élément (accès dit *séquentiel*).
- Un tableau a une taille fixe, tandis qu'une liste peut augmenter en taille indéfiniment (on peut toujours rajouter un élément à une liste).

#### Définition (récursive) :

En considérant que la liste la plus simple est *la liste vide* (notée  $[]$ ), qui ne contient aucun élément, on peut donner une définition récursive aux listes chaînées d'éléments de type  $T$  :

- la liste vide  $[]$  est une liste ;
- si  $e$  est un élément de type  $T$  et  $l$  est une liste d'éléments de type  $T$ , alors le couple  $(e, l)$  est aussi une liste, qui a comme premier élément  $e$  et dont le reste des éléments (à partir du second) forment la liste  $l$ .

Cette définition est *récursive*, car une liste est définie en fonction d'une autre liste. Une telle définition récursive est correcte, car une liste est définie en fonction d'une liste plus courte, qui contient un élément de moins. Cette définition permet de construire n'importe quelle liste en partant de la liste vide.

**Conclusion :** la liste chaînée est une structure de données récursive.

La validité de cette définition récursive peut être discutée d'un point de vue différent. Elle peut être exprimée sous la forme suivante : quelque soit la liste  $l$  considérée,

- soit  $l$  est la liste vide  $[]$ ,
- soit  $l$  peut être décomposée en un premier élément  $e$  et un reste  $r$  de la liste,  $l=(e, r)$ .

Cette définition donne *une décomposition récursive* des listes. La condition générale d'arrêt de récursivité est pour la liste vide. Cette décomposition est valide, car la liste est réduite à chaque pas à une liste plus courte d'une unité. Cela garantit que la décomposition mène toujours à une liste de longueur 0, la liste vide (condition d'arrêt).

## 1.2 Représentation des listes chaînées en Java

Il y a plusieurs façons de représenter les listes chaînées en Java. L'idée de base est d'utiliser *un enchaînement de cellules* :

- chaque cellule contient un élément de la liste ;
- chaque cellule contient une référence vers la cellule suivante, sauf la dernière cellule de la liste (qui contient une référence nulle) ;
- la liste donne accès à la première cellule, le reste de la liste est accessible en passant de cellule en cellule, suivant leur enchaînement.

La figure 1.1 illustre cette représentation pour la liste exemple ci-dessus [3, 7, 2, 4].

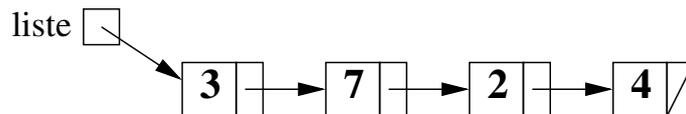


FIGURE 1.1 – Représentation par enchaînement de cellules de la liste [3, 7, 2, 4]

En Java, les références ne sont pas définies explicitement, mais implicitement à travers les objets : un objet est représenté par une référence vers la zone de mémoire qui contient ses variables d'instance.

Comme une liste est définie par une référence vers une cellule (la première de la liste), *la solution la plus simple est de représenter une liste par sa première cellule*. La classe suivante définit une liste d'entiers.

---

```

class ElementListe{
    int valeur;
    ElementListe suivant;

    ElementListe(int valeur, ElementListe suivant){
        this.valeur = valeur;
        this.suivant = suivant;
    }
}
  
```

---

Cependant, cette représentation ne fonctionne que pour les listes non vide (un `ElementListe` contient forcément au moins une valeur).

On représente donc d'habitude les listes par deux classes : une classe pour les éléments, et une classe pour la liste elle-même, qui contient une référence vers son premier élément.

---

```

class Liste {
    ElementListe premier;
}
  
```

---

Si `premier` est à `null`, la liste est vide.

## 1.3 Opérations sur les listes chaînées, version itérative

Nous étudierons les opérations les plus importantes sur les listes chaînées, qui seront implémentées comme des méthodes de la classe `Liste`.

Conformément à leur définition, les listes sont des structures *récurives*. Par conséquent, les opérations sur les listes s'expriment naturellement par des algorithmes récursifs. En même temps, les

listes sont des structures linéaires, parfaitement adaptées à un parcours *itératif*. Nous allons proposer d'abord une version des classes qui implémentera les méthodes de manière *itérative*, et nous en donnerons ensuite une version *réursive*.

La représentation de la classe `Liste` ci-dessous montre sous forme de méthodes les opérations sur listes que nous discuterons.

---

```
public class Liste {
    public boolean estVide() {}
    public ElementListe getDebut() {}
    public void ajouterAuDebut(int v) {}
    public int getLongueur() {}
    public boolean contient(int v) {}
    public void retirerPremiereOccurrence(int v) {}
    public void concatener(Liste l) {}
}
```

---

### 1.3.1 La classe `ElementListe`

Nous avons décidé de placer toute la logique des méthodes dans la classe `Liste`. Ce n'est pas forcément la seule solution, mais le code obtenu sera plus facile à expliquer.

La classe `ElementListe` est donc réduite à sa plus simple expression : un élément de liste a une *valeur*, et est suivi d'un autre élément de liste (qui peut être éventuellement `null` si notre élément est le dernier).

La classe est dotée de plusieurs constructeurs et des accesseurs nécessaires.

---

```
public class ElementListe {
    private int valeur;
    private ElementListe suivant;

    public ElementListe(int valeur, ElementListe suivant) {
        this.valeur = valeur;
        this.suivant = suivant;
    }

    /**
     *Crée un élément de liste sans successeur.
     * @param v
     */
    public ElementListe(int v) {
        this.valeur = v;
        this.suivant = null;
    }

    public int getValeur() {
        return valeur;
    }

    public void setValeur(int valeur) {
        this.valeur = valeur;
    }
}
```

```
public ElementListe getSuivant() {
    return suivant;
}

public void setSuivant(ElementListe suivant) {
    this.suivant = suivant;
}
}
```

---

### Consulter la valeur d'un élément et accéder à l'élément suivant

Ces opérations sont réalisées par les méthodes `getValeur` (qui retourne la valeur associée à un élément  $e$  de la liste), respectivement `getSuivant` (qui retourne l'élément qui suit  $e$ , ou `null` si  $e$  est le dernier élément).

En rendant les variables d'instance `valeur` et `suivant` `private`, nous nous sommes interdit d'y accéder directement, d'où l'écriture de ces méthodes, appelées *accesseurs*.

Nous verrons plus tard que l'accès direct aux variables d'instance est déconseillé dans la programmation orientée-objet. A la place, on préfère "cacher" les variables d'instance et donner accès à leur valeurs à travers des méthodes. Ceci fera l'objet d'un prochain cours.

**Remarque :** Il ne faut pas oublier que `getValeur` et `getSuivant` sont des méthodes de la classe `ElementListe`, donc une instruction comme `return valeur` signifie `return this.valeur`.

.

### Modifier la valeur et l'élément suivant

Ces opérations sont réalisées par les méthodes `setValeur` (qui modifie la valeur d'un élément de la liste), respectivement `setSuivant` (qui change l'élément suivant).

Ces méthodes permettent donc de *modifier* les composants `valeur` et `suivant` d'une cellule de la liste. Elles sont complémentaires aux méthodes `getValeur()` et `getSuivant()`, qui permettent de *consulter* ces mêmes composants.

Leur présence dans la classe `ElementListe` correspond au même principe que celui évoqué pour `getValeur()` et `getSuivant()` : remplacer l'accès direct aux variables d'instance par des appels de méthodes.

## 1.3.2 Opérations sans parcours de liste

Pour ces opérations il n'y a pas de variantes itératives et récursives, l'action est réalisée directement sur l'objet `Liste`.

### Obtenir le premier élément de la liste

Cette opération est réalisée par la méthode `getPremier()` qui retourne le premier `ElementListe` de la liste.

---

```

public ElementListe getPremier() {
    return premier;
}

```

---

### Savoir si une liste est vide

Une liste est vide si son premier élément est à null. La méthode `estVide()` de la classe `Liste` est donc :

---

```

public boolean estVide() {
    return premier == null;
}

```

---

### Insérer un élément en tête de liste

L'insertion en tête de liste est réalisée par la méthode `ajouterAuDebut`. C'est une opération simple, car elle nécessite juste un accès à la tête de la liste initiale. On crée une nouvelle cellule, à laquelle on enchaîne l'ancienne liste.

---

```

public void ajouterAuDebut(int v) {
    ElementListe ancienPremier= premier;
    premier= new ElementListe(v,ancienPremier);
}

```

---

### 1.3.3 Opérations avec parcours de liste - variante itérative

Ces opérations nécessitent un parcours complet ou partiel de la liste. Dans la variante itérative, le parcours est réalisé à l'aide d'une référence qui part de la première cellule de la liste et suit l'enchaînement des cellules.

La figure 1.2 illustre le principe du parcours itératif d'une liste à l'aide d'une référence *ref*.

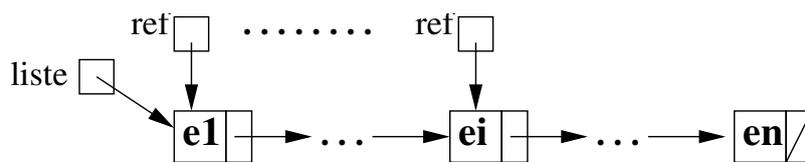


FIGURE 1.2 – Parcours itératif d'une liste à l'aide d'une référence

### Calculer la longueur d'une liste

Cette opération, réalisée par la méthode `getLongueur`, nécessite un parcours complet de la liste pour compter le nombre de cellules trouvées.

---

```

public int getLongueur() {
    int longueur= 0;
    ElementListe ref= getPremier();
    while (ref != null) {
        longueur++;
    }
}

```

---

```
    ref= ref.getSuivant();
}
return longueur;
}
```

---

**Remarque :** La référence *ref* est positionnée au début sur la première cellule de la liste et avance jusqu'à ce qu'elle devient nulle à la fin de la liste. Chaque fois qu'elle pointe vers une nouvelle cellule, le compteur est incrémenté. Remarquez que l'avancement dans la liste se fait en utilisant la méthode `getSuivant` de la cellule courante.

### Vérifier l'appartenance d'un élément à une liste

Cette opération, réalisée par la méthode `contient`, nécessite un parcours partiel de la liste pour chercher l'élément en question. Si l'élément est retrouvé, le parcours s'arrête à ce moment-là, sinon il continue jusqu'à la fin de la liste.

---

```
public boolean contient(int v) {
    boolean trouve= false;
    ElementListe ref= getPremier();
    while (! trouve && ref != null) {
        if (ref.getValeur() ==v ) {
            trouve= true;
        } else {
            ref= ref.getSuivant();
        }
    }
    // trouve est vrai implique donc ref.getValeur() ==v
    // autre test possible pour la boucle
    // while (ref != null && ref.getValeur() != v)
    // expliquer l'ordre des test dans ce cas.
    return trouve;
}
```

---

### Concaténation de deux listes

Cette opération, réalisée par la méthode `concatener`, rajoute à la fin de la liste courante toutes les cellules de la liste passée en paramètre. Elle nécessite un parcours complet de la liste courante, afin de trouver sa dernière cellule.

La liste obtenue par concaténation a toujours la même première cellule que la liste initiale. On peut dire donc que la liste initiale a été modifiée, en lui rajoutant par concaténation une autre liste.

Tel que le code est écrit, les éléments de la liste `l` sont partagés entre `l` et la liste `l0` à laquelle on l'a concaténée. Une modification ultérieure de `l` peut avoir des conséquences inattendues sur `l0`. Une variante plus sûre, mais plus coûteuse en temps et en espace mémoire serait de dupliquer le contenu de `l`.

---

```
public void concatener(Liste l) {
    if (this.estVide()) {
        this.premier= l.getPremier();
    } else {
        // On parcourt la liste jusqu'à être sur
```

```

// le dernier élément, celui dont le suivant est null.
ElementListe dernier= this.getPremier();
while (dernier.getSuivant() != null) {
    dernier= dernier.getSuivant();
}
// Nous y sommes. dernier correspond au dernier élément
// de la liste, qui existe car celle-ci n'est pas vide.
// On fixe donc le suivant de "dernier" au premier
// élément de la liste l.
dernier.setSuivant(l.getPremier());
}
}

```

---

**Remarque :** La condition de la boucle *while* change ici, car on veut s'arrêter sur la dernière cellule et non pas la dépasser comme dans les méthodes précédentes. Remarquez que l'enchaînement des deux listes se fait en modifiant la variable d'instance `suivant` de la dernière cellule à l'aide de la méthode `setSuivant`.

Dans le même esprit que l'algorithme de concaténation, on peut écrire l'ajout d'un élément en dernière position d'une liste :

---

```

public void ajouterALaFin(int v) {
    if (estVide()) {
        premier= new ElementListe(v);
    } else {
        // Il y a un dernier élément.
        // On le cherche et on ajoute après lui.
        ElementListe dernier = getDernierElement();
        // nous savons que
        // dernier.getSuivant() == null => dernier est bien le dernier élément.
        dernier.setSuivant(new ElementListe(v));
    }
}

/**
 *Trouve le dernier élément d'une liste non vide.
 *Lance une {@link NullPointerException} pour une liste vide.
 *@return le dernier élément d'une liste
 *@throws une NullPointerException si la liste est vide
 */
private ElementListe getDernierElement() {
    ElementListe dernier= premier;
    while (dernier.getSuivant() != null) {
        dernier= dernier.getSuivant();
    }
    return dernier;
}
}

```

---

(la méthode `getDernierElement` pourra être réutilisée avec profit dans `concatener` pour simplifier son écriture).

### Suppression de la première occurrence d'un élément

Cette opération, réalisée par la méthode `retirerPremiereOccurrence`, élimine de la liste la première apparition de l'élément donné en paramètre (s'il existe). On distingue comme précédemment les cas où la cellule modifiée est la première et les autres

La suppression d'une cellule de la liste se fait de la manière suivante (voir la figure 1.3) :

- si la cellule est la première de la liste, la nouvelle liste sera celle qui commence avec la seconde cellule.
- sinon la cellule a un prédécesseur ; pour éliminer la cellule il faut la “court-circuiter”, en modifiant la variable `suisvant` du prédécesseur pour qu'elle pointe vers la même chose que la variable `suisvant` de la cellule.

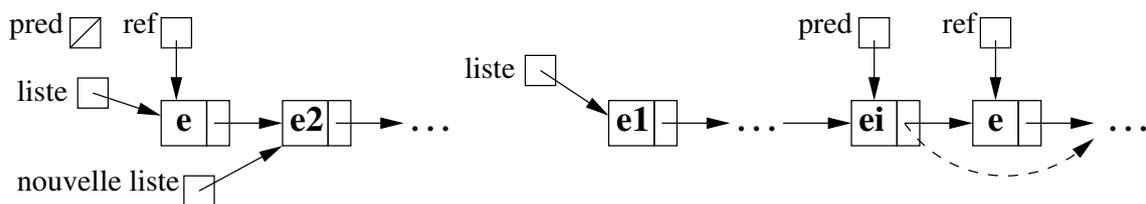


FIGURE 1.3 – Suppression d'une cellule de la liste

Le parcours de la liste à la recherche de l'élément donné a une particularité : si la référence s'arrête sur la cellule qui contient l'élément, la suppression n'est plus possible, car on n'a plus accès au prédécesseur (dans les listes chaînées on ne peut plus revenir en arrière).

La méthode utilisée est alors de parcourir la liste avec *deux références* :

- une (*elt*) qui cherche la cellule à éliminer ;
- une autre (*precedent*) qui se trouve toujours sur le prédécesseur de *elt*.

---

```

public void retirerPremiereOccurrence(int v) {
    // On élimine le problème de la liste vide
    if (estVide())
        return;
    // Le but est de trouver l'élément qui précède v...
    // qui n'existe pas si v est la première valeur=>
    if (premier.getValeur() == v) {
        premier = premier.getSuisvant();
    } else {
        ElementListe precedent = premier;
        ElementListe elt = premier.getSuisvant();
        while (elt != null && elt.getValeur() != v) {
            precedent = elt;
            elt = elt.getSuisvant();
        }
        if (elt != null) {
            // L'élément a été trouvé
            // Plomberie:
            precedent.setSuisvant(elt.getSuisvant());
        }
    }
}

```

---

### 1.3.4 Opérations avec parcours de liste - variante récursive

Ces opérations sont basées sur une décomposition récursive de la liste en *un premier élément* et *le reste de la liste* (voir la figure 1.4). Le cas le plus simple (condition d'arrêt) est la liste avec une seule cellule.

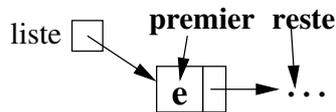


FIGURE 1.4 – Décomposition récursive d'une liste

#### Calcul récursif de la longueur d'une liste

La formule récursive est :

```
longueur(listeElements) = 0                si listeElements est vide
                        1 + longueur(listeElements.suivant()) sinon
```

La fonction `getLongueur` s'écrit alors très facilement, comme suit :

---

```
public int getLongueur() {
    return getLongueurRec(premier);
}

private int getLongueurRec(ElementListe elt) {
    if (elt == null)
        return 0;
    else
        return 1 + getLongueurRec(elt.getSuivant());
}
```

---

Dans notre exemple, la véritable fonction récursive est la seconde. Mais comme il n'est pas pratique pour le programmeur qui utilise la classe d'écrire

---

```
int l = maListe.getLongueurRec(maListe.getPremier());
```

---

on cache l'appel récursif en fournissant la méthode publique `getLongueur()` qui n'amorce que l'appel, le travail étant ensuite réalisé par la méthode récursive.

#### Vérification récursive de l'appartenance à une liste

La formule récursive est :

```
contient(listeElements, e) = false si listeElements == null
                             true si listeElements != null
                               et listeElements.valeur == e
                             contient(listeElements.suite, e) sinon
```

Remarquez que dans ce cas il y a deux conditions d'arrêt : quand on trouve l'élément recherché ou quand la liste est vide. La fonction récursive `contient` s'écrit alors comme suit :

---

```

public boolean contient(int v) {
    return contient(getPremier(), v);
}

private boolean contientRec(ElementListe elt, int v) {
    // Si la liste est vide, elle ne contient pas v:
    if (elt == null)
        return false;
    else if (elt.getValeur() == v)
        // Sinon, si elle commence par v, alors elle le contient
        return true;
    else
        // Sinon, elle contient v si la suite de la liste le contient
        return contientRec(elt.getSuivant(), v);
}

```

---

Ici encore, la fonction récursive est la seconde, la première étant une façade plus agréable d'utilisation.

### Concaténation récursive de deux listes

---

```

public void concatener(Liste l) {
    if (this.estVide()) {
        this.premier = l.premier;
    } else {
        concatenerRec(premier, l.getPremier());
    }
}

/**
 *Méthode appelée uniquement si l0 est non null.
 */
private void concatener(ElementListe l0, ElementListe l1) {
    if (l0.getSuivant() == null) {
        l0.setSuivant(l1);
    } else {
        concatenerRec(l0.getSuivant(), l1);
    }
}

```

---

### Suppression récursive de la première occurrence d'un élément

Pour supprimer la première occurrence d'un élément, le principe est : La formule récursive est :

```

supprimerPremier(l, e) =
    null                si l est null
    l.suite             si l.premier == e
    ElementListe(l.premier, supprimerPremier(l.suite, e)) sinon

```

Si le premier élément de la liste est celui recherché, le résultat sera le reste de la liste. Sinon, le résultat sera une liste qui aura le même premier élément, mais dans la suite de laquelle on aura supprimé la valeur cherchée.

---

```

public void retirerPremiereOccurrence(int v) {
    // On élimine le problème de la liste vide
    if (! estVide()) {
        premier= retirerPremiereOccurrenceRec(premier, v);
    }
}

public ElementListe retirerPremiereOccurrenceRec(ElementListe l, int v) {
    if (l== null) {
        return l;
    } else if (l.getValeur() == v) {
        return l.getSuivant();
    } else {
        return new ElementListe(l.getValeur(),
                               retirerPremiereOccurrenceRec(l.getSuivant(), v));
    }
}

```

---

**Remarque :** L'inconvénient de cette méthode est qu'on crée des copies de toutes les cellules qui ne contiennent pas l'élément recherché. Pour éviter cela, la définition doit mélanger calcul et effets de bord, comme suit :

---

```

public ElementListe retirerPremiereOccurrenceRec(ElementListe l, int v) {
    if (l== null) {
        return l;
    } else if (l.getValeur() == v) {
        return l.getSuivant();
    } else {
        l.setSuivant(retirerPremiereOccurrenceRec(l.getSuivant(), v));
        return l;
    }
}

```

---

## 1.4 Listes triées

Nous nous intéressons maintenant aux listes chaînées dans lesquelles les éléments respectent un ordre croissant. Dans ce cas, les méthodes de recherche, d'insertion et de suppression sont différentes. L'ordre des éléments permet d'arrêter plus tôt la recherche d'un élément qui n'existe pas dans la liste. Aussi, l'insertion ne se fait plus en début de liste, mais à la place qui préserve l'ordre des éléments.

Nous utiliserons une classe `ListeTrie` qui est très similaire à la classe `Liste`, mais dans laquelle on s'intéresse uniquement aux méthodes de recherche (`contientTrie`), d'insertion (`insertionTrie`) et de suppression (`suppressionTrie`). Les autres méthodes sont identiques à celles de la classe `Liste`.

---

```

class ListeTrie{
    ElementListe premier;

```

```

public ElementListe getPremier() {...}

public boolean contientTrie(int elem){...}
public void ajouterTrie(int elem){...}
public void retirerPremiereOccurrence(int elem){...}
}

```

---

### 1.4.1 Recherche dans une liste triée

La différence avec la méthode `contient` de `Liste` est que dans le parcours de la liste on peut s'arrêter dès que la cellule courante contient un élément plus grand que celui recherché. Comme tous les éléments suivants vont en ordre croissant, ils seront également plus grands que l'élément recherché.

**Variante itérative :**

```

public boolean contientTrie(int v) {
    ElementListe elt = getPremier();
    while (elt != null && elt.getValeur() < v) {
        elt = elt.getSuivant();
    }
    return (elt != null && elt.getValeur() == v);
}

```

---

**Variante récursive :**

```

public boolean contientTrie(int v) {
    return contientTrieRec(getPremier(), v);
}

private boolean contientTrieRec(ElementListe elt, int v) {
    if (elt == null) {
        return false;
    } else if (elt.getValeur() > v) {
        return false;
    } else if (elt.getValeur() == v) {
        return true;
    } else {
        return contientTrieRec(elt.getSuivant(), v);
    }
}

```

---

### 1.4.2 Insertion dans une liste triée

L'insertion d'un élément doit se faire à *la bonne place* dans la liste. La bonne place est *juste avant la première cellule qui contient un élément plus grand que celui à insérer*.

**Variante itérative :**

La figure 1.5 montre les deux cas d'insertion :

- en début de liste.

Elle est similaire alors à l'opération `insertionDebut` de la classe `Liste`

- en milieu de liste.

La recherche de la position d'insertion se fait alors avec une méthode similaire à celle utilisée pour la méthode `suppressionPremier` de la classe `Liste`, avec deux références. Le prédécesseur doit être modifié pour pointer vers la nouvelle cellule, tandis que celle-ci doit pointer vers la cellule courante (*ref*).

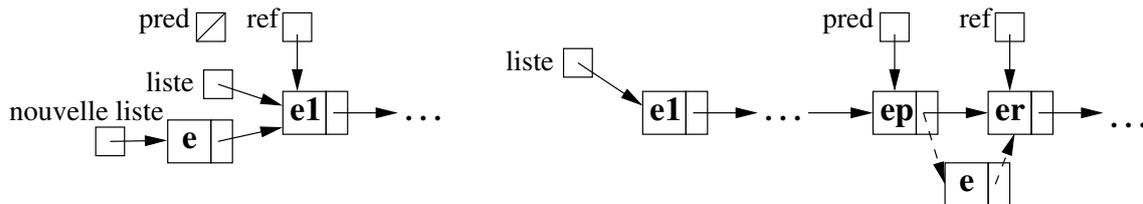


FIGURE 1.5 – Insertion dans une liste triée

Dans la figure 1.5, à droite, la référence *ref* peut ne pas pointer vers une cellule. Ceci arrive quand l'élément à insérer est plus grand que tous les éléments de la liste. Dans ce cas, l'insertion se fait à la fin de la liste, donc au moment de l'arrêt de la recherche, *ref* est nulle et *pred* est sur la dernière cellule de la liste. Ce cas est identique à celui présenté dans la figure 1.5, à la variable suivant de la nouvelle cellule on donne tout simplement la valeur de *ref*.

---

```

public void ajouterTrice(int v) {
    if (estVide()) {
        premier = new ElementListe(v);
    } else if (getPremier().getValeur() >= v) {
        // Insertion au début de la liste.
        premier = new ElementListe(v, premier);
    } else {
        // On veut chercher l'élément qui précède notre valeur
        // Le problème est que nous ne savons que nous avons
        // l'élément "précédent" que parce que le "suivant"
        // est strictement plus grand que v.
        ElementListe precedent = getPremier(); // Initialisation correcte car
                                                // getPremier().getValeur() < v.
        ElementListe elt = getPremier().getSuivant();
        while (elt != null && elt.getValeur() < v) {
            precedent = elt;
            elt = elt.getSuivant();
        }
        precedent.setSuivant(new ElementListe(v, elt));
    }
}

```

---

#### Variante récursive :

Nous utilisons le même schéma de décomposition récursive de la liste, en un premier élément (*premier*) et un reste de la liste (*reste*). L'insertion récursive suit le schéma suivant :

```

liste.insertionTrice(e) =
    ListeTrice(e, liste)                                si e <= premier

```

```

liste après reste=ListeTrie(e, null)      si e>premier et reste==null
liste après reste=reste.insertionTrie(e) si e>premier et reste!=null

```

Si l'élément à insérer est plus petit ou égal à *premier*, l'insertion se fera en tête de liste. Sinon, l'insertion se fera récursivement dans le reste. Si *reste* est vide, alors *reste* sera remplacé par la nouvelle cellule à insérer. Si *reste* n'est pas vide, l'insertion se fait récursivement dans *reste* et le résultat remplace l'ancien *reste*.

---

```

public void ajouterTrie(int v) {
    premier= ajouterTrieRec(premier,v);
}

private ElementListe ajouterTrieRec(ElementListe elt, int v) {
    if (elt == null) {
        return new ElementListe(v);
    } else if (elt.getValeur() > v) {
        return new ElementListe(v, elt);
    } else {
        ElementListe e= ajouterTrieRec(elt.getSuivant(), v);
        elt.setSuivant(e);
        return elt;
    }
}

```

---

### 1.4.3 Suppression dans une liste triée

La suppression de la première occurrence d'un élément dans une liste triée est assez similaire à la suppression dans une liste non triée. La seule chose qui change est la recherche de la cellule à supprimer, qui bénéficie du tri des valeurs. Aussi, si plusieurs occurrences de l'élément existent, elles sont forcément l'une à la suite de l'autre à cause du tri. Il serait donc plus simple d'éliminer *toutes* les occurrences de l'élément que dans le cas des listes non triées. Nous nous limiterons cependant ici à la suppression de la première occurrence seulement.

#### Variante itérative :

Par rapport à la méthode `suppressionPremier` de la classe `Liste`, ici le parcours de la liste à la recherche de l'élément ne se fait que tant que *ref* pointe une valeur plus petite que celui-ci. Une fois le parcours arrêté, la seule différence est qu'il faut vérifier que *ref* pointe vraiment la valeur recherchée.

---

```

public void retirerPremiereOccurrence(int v) {
    // On élimine le problème de la liste vide
    if (estVide())
        return;
    // Le but est de trouver l'élément qui précède v...
    // qui n'existe pas si v est la première valeur=>
    if (premier.getValeur() == v) {
        premier = premier.getSuivant();
    } else {
        ElementListe precedent = null;
        ElementListe elt = premier;
        while (elt != null && elt.getValeur() < v) {

```

```

    precedent = elt;
    elt = elt.getSuivant();
}
if (elt != null && elt.getValeur() == v) {
    // L'élément a été trouvé
    // Plomberie:
    precedent.setSuivant(elt.getSuivant());
}
}
}

```

---

#### Variante récursive :

Par rapport à la variante récursive de la méthode `suppressionPremier` de la classe `Liste`, une nouvelle condition d'arrêt est rajoutée : quand l'élément à éliminer est plus petit que *premier*, il n'existe sûrement pas dans la liste et celle-ci est retournée non modifiée.

---

```

public void retirerPremiereOccurrence(int v) {
    premier= retirerPremiereOccurrenceRec(premier, v);
}

private ElementListe retirerPremiereOccurrenceRec(ElementListe elt, int v) {
    if (elt == null) {
        return null;
    } else if (v == elt.getValeur()) {
        return elt.getSuivant();
    } else if (v < elt.getValeur()) {
        return elt;
    } else {
        elt.setSuivant(retirerPremiereOccurrenceRec(elt.getSuivant(),v));
        return elt;
    }
}

```

---

## 1.5 Un exemple de programme qui utilise les listes

Considérons un exemple simple de programme qui manipule des listes chaînées en utilisant la classe `Liste`.

Le programme lit une suite de nombres entiers terminée par la valeur 0 et construit une liste avec ces entiers (sauf le 0 final). La liste doit garder les éléments dans l'ordre dans lequel ils sont introduits. Egalement, une valeur ne doit être stockée qu'une seule fois dans la liste.

Le programme lit ensuite une autre suite de valeurs, également terminée par un 0, avec lesquelles il construit une autre liste, sans se soucier de l'ordre des éléments. Les éléments de cette seconde liste devront être éliminés de la liste initiale.

A la fin, le programme affiche ce qui reste de la première liste.

**Remarque :** Pour garder les éléments dans l'ordre d'introduction, l'insertion d'un nouvel élément doit se faire *en fin de liste*. La méthode `ajouterAuDebut` ne convient donc pas. On pourrait se débrouiller avec la méthode `concatener`, mais comme l'opération est fréquemment utile, on suppose écrite la méthode `ajouterALaFin`.

**Remarque :** Pour qu'un élément soit stocké une seule fois dans la liste, il faut d'abord vérifier s'il n'y est pas déjà, à l'aide de la méthode `contient`.

Voici le programme qui réalise ces actions :

---

```

public class ExempleListes{
  public static void main(String[] args){
    //1. Creation premiere liste
    Terminal.ecrireStringln("Entrez_les_valeurs_terminees_par_un_0_");
    Liste liste = new Liste(); //liste a construire
    do{
      int val = Terminal.lireInt();
      if(val==0) break;
      if (! liste.contient(val))
        liste.ajouterALaFin(val);
    } while(true);

    //2. Creation seconde liste
    Terminal.ecrireStringln("Valeurs_a_eliminer_(terminees_par_un_0)_");
    Liste liste2 = new Liste();
    do{
      int val = Terminal.lireInt();
      if(val==0) break;
      liste2.ajouterAuDebut(val);
    } while(true);

    //3. Elimination des éléments de la premiere liste
    for(ElementListe ref = liste2.getPremier(); ref != null; ref = ref.getSuivant()){
      if(liste.estVide()) break; //plus rien a eliminer
      liste.retirerPremiereOccurrence(ref.getValeur());
    }

    //4. Affichage liste restante
    Terminal.ecrireStringln("Valeurs_restantes_");
    for(ElementListe ref = liste.getPremier(); ref != null; ref = ref.getSuivant())
      Terminal.ecrireString(" " + ref.getValeur());
    Terminal.sautDeLigne();
  }
}

```

---

## 1.6 Premiers exercices sur les listes

### Exercice 1.1.1 *dessins*

On reprend ici la classe `Liste` du cours, que l'on rappelle. Pour chacun des points marqués par un commentaire dans la méthode `main`, dessinez la liste `l`. Vous utiliserez le même genre de dessins que ceux du cours. On reprend ici la classe `Liste` du cours, que l'on rappelle.

---

```

public class ElementListe {
  private int valeur;
  private ElementListe suivant;
}

```

```
public ElementListe(int valeur, ElementListe suivant) {
    this.valeur = valeur;
    this.suivant = suivant;
}

public ElementListe(int v) {
    this.valeur = v;
    this.suivant = null;
}

public int getValeur() {
    return valeur;
}

public void setValeur(int valeur) {
    this.valeur = valeur;
}

public ElementListe getSuivant() {
    return suivant;
}

public void setSuivant(ElementListe suivant) {
    this.suivant = suivant;
}
}

public class Listelter {
    ElementListe premier;

    public boolean estVide() {
        return premier == null;
    }

    public ElementListe getPremier() {
        return premier;
    }

    public void ajouterAuDebut(int v) {
        ElementListe ancienPremier= premier;
        premier= new ElementListe(v,ancienPremier);
    }

    public void ajouterALaFin(int v) {
        if (estVide()) {
            premier= new ElementListe(v);
        } else {
            ElementListe dernier = getDernierElement();
            dernier.setSuivant(new ElementListe(v));
        }
    }

    private ElementListe getDernierElement() {
```

```
        ElementListe dernier= premier;
        while (dernier.getSuivant() != null) {
            dernier= dernier.getSuivant();
        }
        return dernier;
    }

    public int getLongueur() {
        int longueur= 0;
        ElementListe elt= getPremier();
        while (elt != null) {
            longueur++;
            elt= elt.getSuivant();
        }
        return longueur;
    }

    public boolean contient(int v) {
        boolean trouve= false;
        ElementListe elt= getPremier();
        while (!trouve && elt != null) {
            if (elt.getValeur() ==v ) {
                trouve= true;
            } else {
                elt= elt.getSuivant();
            }
        }
        return trouve;
    }

    public void retirerPremiereOccurrence(int v) {
        if (estVide())
            return;
        if (premier.getValeur() == v) {
            premier= premier.getSuivant();
        } else {
            ElementListe precedent= premier;
            ElementListe elt= premier.getSuivant();
            while (elt != null && elt.getValeur() != v) {
                precedent= elt;
                elt= elt.getSuivant();
            }
            if (elt != null) {
                precedent.setSuivant(elt.getSuivant());
            }
        }
    }

    public void concatener(ListeIter l) {
        if (this.estVide()) {
            this.premier= l.premier;
        } else {
            ElementListe dernier= getDernierElement();
```

```
        dernier.setSuivant(l.getPremier());
    }
}

class Exo21_1{
    public static void main(String[] args){
        ListeIter l = new ListeIter();
        // dessin 1
        l.ajouterAuDebut(1);
        // dessin 2
        l.ajouterAuDebut(2);
        // dessin 3
        l.ajouterAuDebut(3);
        // dessin 4
        l.getPremier().setValeur(4);
        // dessin 5
        l.getPremier().setSuivant(new ElementListe(5,null));
        // dessin 6
        (l.getPremier().getSuivant()).setSuivant(new ElementListe(6));
        // dessin 7
    }
}
```

---

## Exercice 1.1.2 *affichage*

### Question 1

Reprendre la classe `Liste` du cours et lui ajouter une méthode `ecrireListe` qui affiche la liste.

### Question 2

Réécrire la méthode `ecrireListe` en utilisant la récursivité (sans boucle).

### Question 3

Si ce n'est pas déjà fait, faire afficher une virgule entre chaque valeur de la liste. Attention : il ne doit pas y avoir de virgule avant la première valeur ni après la dernière.

## Exercice 1.1.3 : *insertion entre chaque élément*

Ajouter une méthode qui permette d'insérer entre chaque élément de la liste une nouvelle valeur. Par exemple, avec la liste `[5,12,7]`, la méthode `insérerEntre(1)` donnerait : `[5,1,12,1,7]`.

## 1.7 Exercices sur les listes (suite)

### Exercice 1.2.4 *travail sur une liste*

Cet exercice reprend la classe `Liste` vue en cours.

Nous allons travailler sur la liste obtenue au moyen du code java suivant :

---

```
ListeIter lal = new ListeIter();
lal.ajouterAuDebut(4);
lal.ajouterAuDebut(3);
lal.ajouterAuDebut(2);
lal.ajouterAuDebut(1);
```

---

1. dessinez la liste `lal`.
2. définissez une liste contenant les mêmes valeurs dans le même ordre en utilisant une seule fois le constructeur et en insérant les éléments au moyen de `ajouterALaFin`.
3. par quel code Java utilisant la liste `lal` peut-on désigner l'élément 1 de la liste ?
4. par quel code Java utilisant la liste `lal` peut-on désigner l'élément 2 de la liste ?
5. par quel code Java utilisant la liste `lal` peut-on désigner l'élément 3 de la liste ?
6. par quel code Java utilisant la liste `lal` désigner la portion de liste qui ne contient que deux éléments ?
7. par quel code java peut-on remplacer l'entier 3 par 5, dans la liste ?

### Exercice 1.2.5 *insertion d'élément*

Le but de cet exercice est de vous familiariser avec les listes et avec la notation graphique associée. Cette notation n'est qu'une représentation abstraite de ce qui se passe en mémoire. Elle peut nous aider, nous humains, à comprendre ce qui se passe en machine. Cela peut nous aider à raisonner pour faire des programmes corrects.

#### Question 1

Notre but est d'écrire une fonction qui ajoute un élément à un rang donné d'une liste. Nous avons déjà vu l'insertion en début et en fin de liste. Avec l'insertion à un rang donné, nous complétons la panoplie de méthodes permettant d'ajouter un élément à une liste. Procédons par étape.

L'algorithme consiste à avancer dans la liste jusqu'au bon endroit. Là, il faut insérer la nouvelle cellule. Il faut que la cellule précédente pointe sur elle et qu'elle pointe sur l'élément suivant.

Voyons d'abord un exemple.

Supposons que la liste contient 1, 2, 3, 4 et qu'on veut insérer 5 en position 3. Dessinez la représentation de l'état initial. Faut-il une variable auxiliaire ? Si oui, comment doit-elle être initialisée ? Si oui toujours, ajoutez-la à votre représentation.

Dessinez ensuite tous les états intermédiaires par lesquels il faut passer pour réaliser l'opération. Faites bien un dessin séparé pour chaque état.

Essayez de décrire le changement d'état par une instruction Java (ou une portion d'instruction comme nous l'avons fait dans les rappels sur les listes). Cette instruction doit être une affectation ou un appel de méthode du genre :

```
- l1 = l2;  
- l=l.getSuivant();  
- l1= new ElementListe(x, l2);  
- l1.setSuivant(l2);
```

Si vous avez besoin de plus d'une instruction pour décrire le passage d'un état au suivant, c'est que vous avez oublié un état intermédiaire entre les deux.

S'il n'est pas possible de trouver une instruction qui décrive le passage d'un état à un autre, c'est que vous vous êtes permis de faire des choses impossibles à réaliser en Java.

### Question 2

Arrivé ici, vous devez avoir votre séquence de dessins et en parallèle la séquence d'instructions correspondante. Si les choses ne sont pas encore bien claires, refaites la même chose pour d'autres exemples de listes, d'entier à ajouter et de rang.

Ecrivez une procédure qui fonctionne dans tous les cas simples (comme l'exemple étudié). Dans cette première version, on traitera pas les cas particuliers ni les problèmes qui peuvent arriver. Testez votre procédure.

En gros, on doit retrouver les différentes affectations de l'exemple, organisées avec des structures de contrôle (boucles, if). Eventuellement, il faudra de nouvelles variables pour décrire les conditions de ces structures de contrôle.

### Question 3

Nous allons maintenant parachever le travail en traitant les erreurs et les cas particuliers éventuels.

Cas particuliers :

- la procédure marche-t-elle si on veut ajouter l'élément en première position ?
- la procédure marche-t-elle si on veut ajouter l'élément en dernière position ?

Modifiez la procédure pour qu'elle marche dans tous ces cas.

Le problème qui peut arriver est que la liste ne comporte pas assez d'éléments pour que le rang demandé existe. Par exemple, il n'est pas possible d'insérer au dixième rang d'une liste de trois entiers.

A quel endroit de la procédure peut-on déceler le problème, et comment ?

feuille1

## 1.8 Exercices avancés sur les listes

### Exercice 1.2.6 utilisation de listes

Nous allons encore une fois utiliser le type `ListeIter` vu en cours.

1. Ecrire une méthode qui calcule la somme des éléments positifs d'une liste d'entiers.
2. Ecrire une méthode qui vérifie si une liste est triée en ordre croissant.

### Exercice 1.2.7 égalité de listes

Il y a deux égalités de listes possibles : l'égalité absolue, testée par `==` qui teste en fait si deux expressions Java sont deux moyen de parler de la même liste, du même objet.

Le plus souvent, on s'intéresse à une égalité du contenu des listes : deux listes sont égales si

- elles ont la même longueur
- pour tout rang, l'élément de l'un situé à ce rang est égal à l'élément de l'autre liste situé à ce rang.

Ecrire une méthode qui teste si deux listes sont égales par leur contenu.

### Exercice 1.2.8 listes triées

Cet exercice utilise la classe `ListeTrie` vue en cours. Elle est rappelée ci-après, étendue avec une méthode d'affichage.

1. Ajouter dans la classe une méthode `suppressionToutesOccurrences` qui supprime toutes les occurrences d'un élément dans une liste triée (note : ces occurrences sont forcément l'une à la suite de l'autre).
2. Ajouter une méthode qui élimine les doublons dans la liste.
3. Ajouter une méthode qui permette de fusionner deux listes triées pour obtenir une nouvelle liste triée.

---

```

class ListeTrie{
    ElementListe premier;
    public ElementListe getPremier(){
        return premier;
    }
    public boolean estVide() {
        return premier == null;
    }
    public boolean contientTrie(int v) {
        ElementListe elt = getPremier();
        while (elt != null && elt.getValeur() < v) {
            elt = elt.getSuivant();
        }
        return (elt != null && elt.getValeur() == v);
    }
    public void ajouterTrie(int v) {
        if (estVide()) {
            premier = new ElementListe(v);
        } else if (getPremier().getValeur() >= v) {
            // Insertion au début de la liste.
            premier = new ElementListe(v, premier);
        } else {
            // On veut chercher l'élément qui précède notre valeur
            // Le problème est que nous ne savons que nous avons
            // l'élément "précédent" que parce que le "suivant"
            // est strictement plus grand que v.
            ElementListe precedent = getPremier(); // Initialisation correcte car
            // getPremier().getValeur() < v.
            ElementListe elt = getPremier().getSuivant();
            while (elt != null && elt.getValeur() < v) {
                precedent = elt;
                elt = elt.getSuivant();
            }
        }
    }
}

```

```
        precedent.setSuivant(new ElementListe(v, elt));
    }
}
public void retirerPremiereOccurrence(int v) {
    // On élimine le problème de la liste vide
    if (estVide())
        return;
    // Le but est de trouver l'élément qui précède v...
    // qui n'existe pas si v est la première valeur=>
    if (premier.getValeur() == v) {
        premier = premier.getSuivant();
    } else {
        ElementListe precedent = null;
        ElementListe elt = premier;
        while (elt != null && elt.getValeur() < v) {
            precedent = elt;
            elt = elt.getSuivant();
        }
        if (elt != null && elt.getValeur() == v) {
            // L'élément a été trouvé
            // Plomberie:
            precedent.setSuivant(elt.getSuivant());
        }
    }
}
void afficher(){
    ElementListe p = premier;
    while (p != null){
        Terminal.ecrireString("_" + p.getValeur());
        p = p.getSuivant();
    }
    Terminal.sautDeLigne();
}
}
```

---