



**Haute École de Bruxelles  
École Supérieure d'Informatique  
Bachelor en Informatique**

Rue Royale, 67. 1000 Bruxelles  
02/219.15.46 – esi@heb.be

DEV 2  
**Algorithmique**  
2016

Activité d'apprentissage enseignée par :  
L. Beeckmans, M. Codutti, G. Cuvelier, C. Leruste & E. Levy

Document produit avec L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.  
Version du 27 janvier 2016.



Ce document est distribué sous licence Creative Commons  
Paternité - Partage à l'Identique 2.0 Belgique  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/be/>).  
Les autorisations au-delà du champ de cette licence  
peuvent être demandées à `esi-dev1-list@heb.be`.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Les tableaux à 2 dimensions</b>	<b>5</b>
1.1	Définition . . . . .	5
1.2	Notations . . . . .	5
1.3	La troisième dimension (et au-delà) . . . . .	8
1.4	Parcours d'un tableau à deux dimensions . . . . .	8
1.5	Exercices . . . . .	12
<b>2</b>	<b>L'orienté objet</b>	<b>15</b>
2.1	Motivation . . . . .	15
2.2	Illustration : une durée . . . . .	15
2.3	Quelques éléments de syntaxe . . . . .	19
2.4	Mise en pratique : le lièvre et la tortue . . . . .	20
<b>3</b>	<b>La liste</b>	<b>27</b>
3.1	La classe Liste . . . . .	28
3.2	Comment implémenter l'état . . . . .	29
3.3	Implémentation du comportement . . . . .	31
3.4	Et sans tableau dynamique ? . . . . .	33
3.5	Exercices . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Représentation des données</b>	<b>35</b>
4.1	Se poser les bonnes questions . . . . .	35
4.2	Les structures de données . . . . .	36
4.3	Exercices . . . . .	37
<b>A</b>	<b>Aide mémoire</b>	<b>45</b>



# Chapitre 1

## Les tableaux à 2 dimensions

### 1.1 Définition

La **dimension** d'un tableau est le nombre d'indices qu'on utilise pour faire référence à un de ses éléments. Attention de ne pas confondre avec la taille!



En DEV1, nous avons introduit les tableaux à une dimension. Un seul indice suffisait à localiser un de ses éléments. Pour le dire autrement, chaque case possédait **un** numéro. De nombreuses situations nécessitent cependant l'usage de tableaux à deux dimensions. Ils vous sont déjà familiers par leur présence dans beaucoup de situations courantes : calendrier, grille horaire, grille de mots croisés, sudoku, jeux se déroulant sur un quadrillage (damier, échiquier, scrabble...). Dans ces situations, chaque case est désignée par **deux** numéros.

### 1.2 Notations

#### 1.2.1 Déclarer

Pour **déclarer** un tableau à 2 dimensions, on écrira :

```
nomTableau : tableau de nbLignes × nbColonnes TypeElément
```

où nbLignes et nbColonnes sont des expressions entières quelconques.

**Exemple :**

```
tab : tableau de 5×10 entiers
```

déclare un tableau de 5 lignes par 10 colonnes dont chaque case contient un entier.



#### 1.2.2 Utiliser

Pour **accéder** à une case du tableau on donnera les deux indices entre crochets. Comme en DEV1, on va considérer que la première ligne et la première colonne portent le numéro (l'indice) 0.



**Exemple :**

```
afficher tab[2,4] // affiche le 5° élément de la 3° ligne du tableau nommé tab.
```

### 1.2.3 Visualiser

Notez que la vue sous forme de tableau avec des lignes et des colonnes est une vision humaine. Il n'y a pas de lignes ni de colonnes en mémoire. Pour être précis, on devrait juste parler de première dimension et de deuxième dimension mais la notion de ligne et de colonne est un abus de langage qui simplifie le discours.

On pourrait aussi visualiser un tableau à deux dimensions comme un tableau à une dimension dont chacun des éléments est lui-même un tableau à une dimension.

**Exemple :** Soit le tableau déclaré ainsi :

nombres : tableau de 4×5 entiers

On peut le visualiser à l'aide d'une grille à 4 lignes et 5 colonnes.

	0	1	2	3	4
0	0	1	2	3	4
1	10	11	12	13	14
2	20	21	22	23	24
3	30	31	32	33	34

Ainsi, la valeur de `nombres[2,3]` est la valeur 23.

La vision « tableau de tableaux » (ou décomposition en niveaux) donnerait :

0					1					2					3				
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
0	1	2	3	4	10	11	12	13	14	20	21	22	23	24	30	31	32	33	34

Dans cette représentation, le tableau `nombres` est d'abord décomposé à un premier niveau en quatre éléments auxquels on accède par le premier indice. Ensuite, chaque élément de premier niveau est décomposé en cinq éléments de deuxième niveau accessibles par le deuxième indice.

### 1.2.4 Exemples

**Exemple 1 – Remplir les coins.** Dans ce petit exemple, on a un tableau de chaînes et on donne des valeurs aux coins.

"NO"				"NE"
"SO"				"SE"

```
// Déclare un tableau et donne des valeurs aux coins.
algorithme remplirCoins()
    grille : tableau de 3×5 entiers
    grille[0,0] ← "NO"
    grille[0,4] ← "NE"
    grille[2,0] ← "SO"
    grille[2,4] ← "SE"
fin algorithme
```

**Exemple 2 – Gestion des stocks.** Reprenons l'exemple du stock de 10 produits qui a servi d'introduction au chapitre sur les tableaux mais, cette fois, pour chaque jour de la semaine.

	article0	article1	article2	...	article7	article8	article9
lundi	cpt[0,0]	cpt[0,1]	cpt[0,2]	...	cpt[0,7]	cpt[0,8]	cpt[0,9]
mardi	cpt[1,0]	cpt[1,1]	cpt[1,2]	...	cpt[1,7]	cpt[1,8]	cpt[1,9]
mercredi	cpt[2,0]	cpt[2,1]	cpt[2,2]	...	cpt[2,7]	cpt[2,8]	cpt[2,9]
jeudi	cpt[3,0]	cpt[3,1]	cpt[3,2]	...	cpt[3,7]	cpt[3,8]	cpt[3,9]
vendredi	cpt[4,0]	cpt[4,1]	cpt[4,2]	...	cpt[4,7]	cpt[4,8]	cpt[4,9]
samedi	cpt[5,0]	cpt[5,1]	cpt[5,2]	...	cpt[5,7]	cpt[5,8]	cpt[5,9]
dimanche	cpt[6,0]	cpt[6,1]	cpt[6,2]	...	cpt[6,7]	cpt[6,8]	cpt[6,9]

```
// Calcule et affiche la quantité vendue de 10 produits
// pour chaque jour de la semaine (de 0 : lundi à 6 : dimanche).
algorithme statistiquesVentesSemaine()

    cpt : tableau de 7×10 entiers

    initialiser(cpt)

    // Pour chaque jour de la semaine
    pour jour de 0 à 6 faire
        traiterStock1Jour(cpt, jour)
        pour produit de 0 à 9 faire
            afficher "quantité vendue de produit ", produit, " ce jour ", jour, " : ", cpt[jour,produit]
        fin pour
    fin pour
fin algorithme
```

```
// Initialise le tableau d'entiers à 0
algorithme initialiser(entiers↓↑ : tableau de 7×10 entiers)

    pour i de 0 à 6 faire
        pour j de 0 à 9 faire
            entiers[i,j] ← 0
        fin pour
    fin pour
fin algorithme
```

```
// Effectue le traitement du stock pour une journée.
algorithme traiterStock1Jour(cpt↓↑ : tableau de 7×10 entiers, jour : entier)

    numéroProduit, quantité : entiers
    afficher "Introduisez le numéro du produit :"
    demander numéroProduit

    tant que numéroProduit ≥ 0 et numéroProduit < 10 faire

        afficher "Introduisez la quantité vendue : "
        demander quantité

        cpt[jour,numéroProduit] ← cpt[jour,numéroProduit] + quantité

        afficher "Introduisez le numéro du produit : "
        demander numéroProduit

    fin tant que
fin algorithme
```

Pour plus d'exemples, allez faire un tour à la section [1.4 page suivante](#).

### 1.3 La troisième dimension (et au-delà)

Certaines situations complexes nécessitent l'usage de tableaux à 3 voire plus de dimensions.



Pour déclarer un tableau statique à  $k$  dimensions, on écrira :

nomTableau : tableau de tailleDim1  $\times$  ...  $\times$  tailleDimK TypeElément

### 1.4 Parcours d'un tableau à deux dimensions

Comme nous l'avons fait pour les tableaux à une dimension, envisageons le parcours des tableaux à deux dimensions ( $n$  lignes et  $m$  colonnes). Nos algorithmes sont valables quel que soit le type des éléments. Utilisons  $T$  pour désigner un type quelconque.

tab : tableau de  $n \times m$   $T$

Commençons par des cas plus simples où on ne parcourt qu'une seule des dimensions puis attaquons le cas général.

#### 1.4.1 Parcours d'une dimension

On peut vouloir ne parcourir qu'une seule ligne du tableau. Si on parcourt la ligne  $l$ , on visite les cases  $(l, 0)$ ,  $(l, 1)$ , ...,  $(l, m - 1)$ . L'indice de ligne est constant et c'est l'indice de colonne qui varie.

$l$	1	2	3	4	5

Ce qui donne l'algorithme :

```
// Parcours de la ligne ligne d'un tableau à deux dimensions
algorithme affichageElémentsLigne(tab : tableau de  $n \times m$   $T$ , ligne : entier)
  pour colonne de 0 à  $m-1$  faire
    afficher tab[ligne,colonne]           // On peut faire autre chose qu'afficher
  fin pour
fin algorithme
```

Retenons : pour parcourir une ligne, on utilise une boucle sur les colonnes.

Symétriquement, on pourrait considérer le parcours de la colonne  $c$  avec l'algorithme suivant.

```
// Parcours de la colonne colonne d'un tableau à deux dimensions
algorithme affichageElémentsColonne(tab : tableau de  $n \times m$   $T$ , colonne : entier)
  pour ligne de 0 à  $n-1$  faire
    afficher tab[ligne,colonne]           // On peut faire autre chose qu'afficher
  fin pour
fin algorithme
```

Si le tableau est carré ( $n = m$ ) on peut aussi envisager le parcours des deux diagonales.

Pour la diagonale descendante, les éléments à visiter sont  $(0, 0)$ ,  $(1, 1)$ ,  $(2, 2)$ , ...,  $(n-1, n-1)$ .

1		
	2	
		3

Une seule boucle suffit comme le montre l'algorithme suivant.



```
// Parcours de la diagonale descendante d'un tableau carré
algorithme affichageElémentsDiagonaleDescendante(tab : tableau de  $n \times n$  T)
  pour i de 0 à n-1 faire
    afficher tab[i,i] // On peut faire autre chose qu'afficher
  fin pour
fin algorithme
```

Pour la diagonale montante, on peut envisager deux solutions, avec deux indices ou un seul en se basant sur le fait que  $i + j = n - 1 \Rightarrow j = n - 1 - i$ .


```
// Parcours de la diagonale montante d'un tableau carré - version 2 indices
algorithme affichageElémentsDiagonaleMontante(tab : tableau de  $n \times n$  T)
  j : entier
  j ← n-1
  pour i de 0 à n-1 faire
    afficher tab[i,j] // On peut faire autre chose qu'afficher
    j ← j - 1
  fin pour
fin algorithme
```

```
// Parcours de la diagonale montante d'un tableau carré - version 1 indice
algorithme affichageElémentsDiagonaleMontante(tab : tableau de  $n \times n$  T)
  pour i de 0 à n-1 faire
    afficher tab[i, n - 1 - i] // On peut faire autre chose qu'afficher
  fin pour
fin algorithme
```

## 1.4.2 Parcours des deux dimensions

### Parcours par lignes et par colonnes

Les deux parcours les plus courants sont les parcours ligne par ligne et colonne par colonne. Les tableaux suivants montrent dans quel ordre chaque case est visitée dans ces deux parcours.

Parcours ligne par ligne

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15

Parcours colonne par colonne

1	4	7	10	13
2	5	8	11	14
3	6	9	12	15

Le plus simple est d'utiliser deux boucles imbriquées

```
// Parcours d'un tableau à 2 dimensions, ligne par ligne
algorithme affichageElémentsLigneParLigne(tab : tableau de  $n \times m$  T)
  pour lg de 0 à n-1 faire
    pour col de 0 à m-1 faire
      afficher tab[lg,col] // On peut faire autre chose qu'afficher
    fin pour
  fin pour
fin algorithme
```

```
// Parcours d'un tableau à 2 dimensions, colonne par colonne
algorithme affichageElémentsColonneParColonne(tab : tableau de  $n \times m$  T)
  pour col de 0 à m-1 faire
    pour lg de 0 à n-1 faire
      afficher tab[lg,col]           // On peut faire autre chose qu'afficher
    fin pour
  fin pour
fin algorithme
```

Mais on peut obtenir le même résultat avec une seule boucle si l'indice sert juste à compter le nombre de passages et que les indices de lignes et de colonnes sont gérés manuellement.

L'algorithme suivant montre ce que ça donne pour un parcours ligne par ligne. La solution pour un parcours colonne par colonne est similaire et laissée en exercice.

```
// Parcours d'un tableau à 2 dimensions via une seule boucle
algorithme affichageElémentsLigneParLigne(tab : tableau de  $n \times m$  T)
  lg, col : entiers
  lg  $\leftarrow$  0
  col  $\leftarrow$  0
  pour i de 0 à (n*m)-1 faire
    afficher tab[lg,col]           // On peut faire autre chose qu'afficher
    col  $\leftarrow$  col + 1           // Passer à la case suivante
    si col = m alors             // On déborde sur la droite, passer à la ligne suivante
      col  $\leftarrow$  0
      lg  $\leftarrow$  lg + 1
    fin si
  fin pour
fin algorithme
```

L'avantage de cette solution apparaîtra quand on verra des situations plus difficiles.

### Interrompre le parcours

Comme avec les tableaux à une dimension, envisageons l'arrêt prématuré lors de la rencontre d'une certaine condition. Et, comme avec les tableaux à une dimension, transformons d'abord nos **pour** en **tant que**.

Par exemple, montrons les deux parcours ligne par ligne, avec une et deux boucle(s).

```
// Parcours d'un tableau à 2 dimensions, ligne par ligne, via un tant que
algorithme affichageElémentsLigneParLigne(tab : tableau de  $n \times m$  T)
  lg, col : entiers
  lg  $\leftarrow$  0
  tant que lg < n faire
    col  $\leftarrow$  0
    tant que col < m faire
      afficher tab[lg, col]           // On peut faire autre chose qu'afficher
      col  $\leftarrow$  col + 1
    fin tant que
    lg  $\leftarrow$  lg + 1
  fin tant que
fin algorithme
```

```
// Parcours d'un tableau à 2 dimensions via une seule boucle et un tant que
algorithme affichageElémentsLigneParLigne(tab : tableau de  $n \times m$  T)
    lg, col, i : entiers
    lg  $\leftarrow$  0
    col  $\leftarrow$  0
    i  $\leftarrow$  0
    tant que i < n*m faire                                     // ou "lg < n"
        afficher tab[lg,col]                                     // On peut faire autre chose qu'afficher
        col  $\leftarrow$  col + 1                                     // Passer à la case suivante
        si col = m alors                                       // On déborde sur la droite, passer à la ligne suivante
            col  $\leftarrow$  0
            lg  $\leftarrow$  lg + 1
        fin si
        i  $\leftarrow$  i + 1
    fin tant que
fin algorithme
```

On peut à présent introduire le test comme on l'a fait dans les algorithmes de parcours des tableaux à une dimension.

Illustrons-le au travers de deux exemples où on cherche un élément particulier. Le premier introduit un test en utilisant un booléen alors que le second introduit un test sans utiliser de booléen.

```
// Parcours avec test d'arrêt - deux boucles et un booléen
algorithme chercherEléments(tab : tableau de  $n \times m$  T)
    lg, col : entiers
    trouvé : booléen
    trouvé  $\leftarrow$  faux
    lg  $\leftarrow$  0
    tant que lg < n ET NON trouvé faire
        col  $\leftarrow$  0
        tant que col < m ET NON trouvé faire
            si tab[lg, col] est l'élément recherché alors
                trouvé  $\leftarrow$  vrai
            sinon                                             // Ne pas modifier les indices si arrêt demandé
                col  $\leftarrow$  col + 1
            fin si
        fin tant que
        si NON trouvé alors                                   // Ne pas modifier les indices si arrêt demandé
            lg  $\leftarrow$  lg + 1
        fin si
    fin tant que
    // Tester trouvé pour savoir si on a trouvé l'élément recherché
fin algorithme
```

```
// Parcours avec test d'arrêt - une boucle et pas de booléen
algorithme chercherEléments(tab : tableau de  $n \times m$  T)
    lg, col, i : entiers
    lg  $\leftarrow$  0
    col  $\leftarrow$  0
    i  $\leftarrow$  0
    tant que i < n*m ET tab[lg, col] n'est pas l'élément recherché faire
        col  $\leftarrow$  col + 1                                     // Passer à la case suivante
        si col = m alors                                       // On déborde sur la droite, passer à la ligne suivante
            col  $\leftarrow$  0
            lg  $\leftarrow$  lg + 1
        fin si
        i  $\leftarrow$  i + 1
    fin tant que
    // L'élément recherché a été trouvé si i < n*m.
fin algorithme
```

### Parcours plus compliqué - le serpent

Envisageons un parcours plus difficile illustré par le tableau suivant.

1	2	3	4	5
10	9	8	7	6
11	12	13	14	15

Le plus simple est d'adapter l'algorithme de parcours avec une seule boucle en introduisant un sens de déplacement, ce qui donne l'algorithme :

```
// Parcours du serpent dans un tableau à deux dimensions
algorithme affichageElémentsSerpent(tab : tableau de  $n \times m$  T)
    lg, col, depl : entiers
    lg  $\leftarrow$  0
    col  $\leftarrow$  0
    depl  $\leftarrow$  1                                // 1 pour avancer, -1 pour reculer
    pour i de 0 à (n*m)-1 faire
        afficher tab[lg, col]                    // On peut faire autre chose qu'afficher
        si  $0 \leq \text{col} + \text{depl}$  ET  $\text{col} + \text{depl} < m$  alors
            col  $\leftarrow$  col + depl                // On se déplace dans la ligne
        sinon
            lg  $\leftarrow$  lg + 1                    // On passe à la ligne suivante
            depl  $\leftarrow$  -depl                    // et on change de sens
        fin si
    fin pour
fin algorithme
```

## 1.5 Exercices

### 1 Affichage

Écrire un algorithme qui affiche tous les éléments d'un tableau (à  $n$  lignes et  $m$  colonnes) ligne par ligne.

Écrivez un autre algorithme qui affiche cette fois les éléments colonne par colonne

### 2 Les nuls



Écrire un algorithme qui reçoit un tableau ( $n \times m$ ) d'entiers et qui affiche la proportion d'éléments nuls dans ce tableau.

### 3 Tous positifs



Écrire un algorithme qui reçoit un tableau ( $n \times m$ ) d'entiers et qui vérifie si tous les nombres qu'il contient sont strictement positifs. Bien sûr, on veillera à éviter tout travail inutile ; la rencontre d'un nombre négatif ou nul doit arrêter l'algorithme.

### 4 Le tableau de cotes

Soit un tableau à  $n$  lignes et  $m$  colonnes d'entiers où une ligne représente les notes sur 20 d'un étudiant et les colonnes toutes les notes d'un cours.

Écrire un algorithme recevant ce tableau en paramètre et affichant le pourcentage d'étudiants ayant obtenu une moyenne supérieure à 50%.

### 5 Le carré magique

Un carré magique est un tableau d'entiers carré (c'est-à-dire possédant autant de lignes que de colonnes) ayant la propriété suivante : si on additionne les éléments d'une quelconque de ses lignes, de ses colonnes ou de ses deux diagonales, on obtient à chaque fois le même résultat.



Écrire un algorithme recevant en paramètres le tableau ( $n \times n$ ) d'entiers représentant le carré et renvoyant une valeur booléenne indiquant si c'est un carré magique ou pas.

### 6 Le triangle de Pascal

Le triangle de Pascal est construit de la façon suivante :

- ▷ la ligne initiale contient un seul élément de valeur 1 ;
- ▷ chaque ligne possède un élément de plus que la précédente ;
- ▷ chaque ligne commence et se termine par 1 ;
- ▷ pour calculer un nombre d'une autre case du tableau, on additionne le nombre situé dans la case située juste au-dessus avec celui dans la case à la gauche de la précédente.

Écrire un algorithme qui reçoit en paramètre un entier  $n$ , et qui renvoie un tableau contenant les  $n + 1$  premières lignes du triangle de Pascal (indicées de 0 à  $n$ ).

N.B. : le « triangle » sera bien entendu renvoyé dans un tableau carré. Quid des cases non occupées ?

Par exemple, pour  $n$  qui vaut 5, on aura le tableau suivant :

1					
1	1				
1	2	1			
1	3	3	1		
1	4	6	4	1	
1	5	10	10	5	1

### 7 Lignes et colonnes

Écrire un algorithme qui reçoit un tableau d'entiers à 2 dimensions en paramètre et qui retourne un booléen indiquant si ce tableau possède 2 lignes ou 2 colonnes identiques.

Dans l'affirmative, cet algorithme renverra également en paramètres les informations suivantes :

- ▷ les indices des lignes ou colonnes identiques
- ▷ un caractère valant 'L' ou 'C' selon qu'il s'agit de lignes ou de colonnes

Dans la négative, les valeurs de ces paramètres seront indéterminées ou quelconques, elles ne seront de toute façon pas utilisées par l'algorithme appelant.

### 8 Le contour du tableau

On donne un tableau d'entiers **tabEnt** à  $n$  lignes et  $m$  colonnes. Écrire un algorithme retournant la somme de tous les éléments *impairs* situés sur le bord du tableau.



Exemple : pour le tableau suivant, l'algorithme doit renvoyer 32

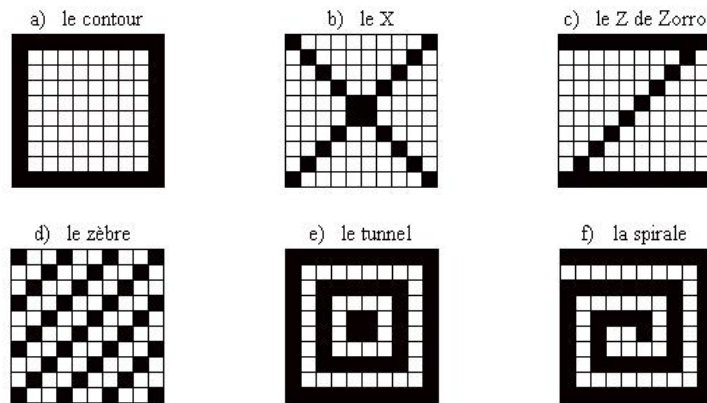
3	4	6	11
2	21	7	9
1	5	12	3

Et pour le suivant, l'algorithme doit renvoyer 6

4	1	2	8	5
---	---	---	---	---

**9 À vos pinceaux !**

On possède un tableau à  $n$  lignes et  $n$  colonnes dont les éléments de type Couleur valent NOIR ou BLANC. On suppose que le tableau est initialisé à BLANC au départ. Écrire un algorithme qui *noircit* les cases de ce tableau comme le suggèrent les dessins suivants (les exemples sont donnés pour un tableau 10 x 10 mais les algorithmes doivent fonctionner quelle que soit la taille du tableau).

**Notes**

- ▷ Le zèbre doit toujours présenter des lignes obliques et parallèles, quelle que soit la taille.
- ▷ La spirale est un véritable défi et vous est donné comme exercice facultatif. Ne le faites pas si vous êtes en retard.

**10 Exercices sur la complexité**

Quelle est la complexité

- a) d'un algorithme de parcours d'un tableau  $n \times n$  ?
- b) des algorithmes que vous avez écrits pour les exercices : "Les nuls", "Tous positifs", "Le carré magique" et "Le contour d'un tableau" ?
- c) des algorithmes que vous avez écrits pour résoudre les exercices du pinceau ?

# Chapitre 2

## L'orienté objet

Le cours de Java vous a présenté la programmation orienté objet. Dans ce chapitre, nous allons rapidement revoir ce sujet et présenter comment nous allons l'utiliser dans ce cours. Nous nous contenterons de parler d'*encapsulation*. Les autres piliers de l'orienté objet (*héritage* et *polymorphisme*) ne seront pas vus cette année.



### 2.1 Motivation

Au cours de Java, vous avez vu que l'orienté objet permet de structurer une application en regroupant dans un même *objet* des données et le code qui va manipuler ces données.

Une autre façon de voir l'orienté objet est de constater qu'une classe permet de définir un nouveau *type de données*. La notion de *structure* permet déjà cela mais de façon limitée car elle ne reprend que des données et pas du code. Avec l'orienté objet, on dispose de méthodes définissant ce qu'on peut faire avec des données (les objets) de ce type. C'est ainsi que nous l'utiliserons pour définir les listes dans un prochain chapitre.

### 2.2 Illustration : une durée

Voyons tout cela au travers d'un exemple complet. Il est parfois utile d'avoir à sa disposition un type de données permettant de représenter une durée. Utiliser plusieurs entiers (un pour les heures, un autre pour les minutes, un autre encore pour les secondes) n'est pas pratique. Utiliser une structure est déjà mieux mais offre moins d'avantage que l'orienté objet. Voyons comment définir ce nouveau type de données en orienté objet.

#### 2.2.1 Ce que l'on veut vraiment

Avant tout, il faut bien préciser ce que l'on veut décrire et bien faire la distinction entre un *moment* et une *durée*. L'« heure » est un concept multifacette. Parle-t-on de l'heure comme moment dans la journée ou de l'heure comme représentant une durée ? Dans le premier cas, elle ne peut dépasser 24h et la différence entre 2 heures n'a pas de sens (ou plus précisément n'est pas une heure, mais une durée !). Ce que nous nous proposons de créer ici est une durée, correspondant au deuxième cas. Et pour être plus précis encore, nous allons nous limiter à une précision à la seconde près, pas plus<sup>1</sup>.

1. Ajouter plus de précision ne serait pas plus compliqué à faire.

### 2.2.2 Le comportement (les méthodes)

La première question à se poser est celle des services que l'on veut fournir, c'est-à-dire des méthodes publiques de la classe. On doit pouvoir *construire* une durée. On doit pouvoir connaître le nombre de jours, d'heures, minutes ou secondes correspondant à une durée. On doit pouvoir effectuer des calculs avec des durées (addition, soustraction). Enfin, on doit pouvoir comparer des durées. Arrêtons-nous là, mais en pratique, on pourrait trouver encore bon nombre d'autres méthodes qu'il serait intéressant de fournir.

Voici comment nous allons noter tout cela au cours d'algorithmique.

```

classe Durée
public:
    constructeur Durée(secondes : entier)
    constructeur Durée(heure, minute, seconde : entiers)

    méthode getJour() → entier                // nb de jours dans une durée
    méthode getHeure() → entier                // entier entre 0 et 23 inclus
    méthode getMinute() → entier              // entier entre 0 et 59 inclus
    méthode getSeconde() → entier             // entier entre 0 et 59 inclus

    méthode getTotalHeures() → entier          // Le nombre total d'heures
    méthode getTotalMinutes() → entier        // Le nombre total de minutes
    méthode getTotalSecondes() → entier       // Le nombre total de secondes

    méthode ajouter(autreDurée : Durée)
    méthode différence(autreDurée : Durée) → Durée
    méthode plusPetit(autreDurée : Durée) → booléen
fin classe
  
```



#### Quelques remarques

- ▷ On a deux constructeurs, ce qui offre plus de souplesse pour initialiser un objet. On parle de « **surcharge** » des constructeurs.
- ▷ Faisons bien la distinction entre les méthodes `getXXX()` et `getTotalXXX()`. Par exemple, la méthode `getMinute()` retourne la valeur de la composante « minutes » dans une représentation HMS tandis que la méthode `getTotalMinutes()` retourne le nombre total de minutes entières pour cette durée. Ex : pour 1h23'12", `getMinute()` retourne 23 et `getTotalMinutes()` retourne 83. Idem avec les heures et les secondes.
- ▷ Les méthodes `getTotalXXX()` retournent le nombre (toujours entier) de XXX contenus dans la durée. Exemple, avec la durée 0h23'52", `getTotalMinutes()` retourne 23 et pas 24 (autrement dit, il n'y a pas d'arrondi vers le haut).
- ▷ Il n'y a pas de *mutateur* (`setXXX()`). Ce qui signifie qu'on ne peut pas changer directement la valeur de l'objet après son initialisation. Les seules modifications viendront de la méthode `ajouter()`. On aurait pu définir des mutateurs mais nous n'avons pas jugé utile de le faire dans ce cas précis. Vous verrez dans le cours de Java des motivations à ce choix.
- ▷ La méthode `ajouter()` ne retourne rien. En effet, elle ajoute la durée à l'objet sur lequel est appelée la méthode. C'est un choix ; on aurait aussi pu dire que la méthode ne modifie pas l'objet mais en retourne un autre qui représente la somme. Dans ce cas, on l'aurait plutôt appelée « **plus( )** ».
- ▷ La méthode `différence()`, elle, renvoie toujours une durée (positive).
- ▷ Nous ne définissons pas de méthode d'affichage similaire au `toString()` qu'on retrouve en Java. L'affichage correct de l'information ne fait pas partie des préoccupations de ce cours. On supposera que "**afficher objet**" affiche correctement les données associées à l'objet.



### 2.2.3 La représentation de l'état (les attributs)

La question suivante est : « Comment représenter une durée en interne ? ». Plusieurs possibilités existent. Par exemple :

- ▷ via le nombre d'heures, de minutes et de secondes
- ▷ via le nombre total de secondes
- ▷ via une chaîne, par exemple au format « HH : MM : SS » où HH pourrait éventuellement excéder 23.

Le premier choix semble le plus évident mais réfléchissons-y de plus près. D'une part, pourquoi se limiter aux heures. On pourrait introduire un champ 'jour' (après tout on a bien une méthode `getJour()`). Quel critère doit vraiment nous permettre de décider ? Il faut une représentation qui soit suffisante (tout est représenté) et qui permette d'écrire des méthodes lisibles et si possible efficaces (c'est-à-dire où le calcul est rapide). Selon ces critères, la deuxième représentation est de loin la meilleure.

Voilà comment nous indiquons les attributs d'une classe.

```

classe Durée
  privé:
    | totalSecondes : entier
  public:
    | // Ici viennent les constructeurs et les méthodes
fin classe
```

### 2.2.4 L'implémentation

On est à présent prêt pour écrire le code des méthodes. Pour une meilleure lisibilité, nous gardons les signatures des méthodes dans la classe et nous détaillons leur contenu en dehors. Ce qui donne :

```

classe Durée
  privé:
    | totalSecondes : entier
  public:
    constructeur Durée(secondes : entier)
    constructeur Durée(heure, minute, seconde : entiers)

    méthode getJour() → entier           // nb de jours dans une durée
    méthode getHeure() → entier          // entier entre 0 et 23 inclus
    méthode getMinute() → entier         // entier entre 0 et 59 inclus
    méthode getSeconde() → entier        // entier entre 0 et 59 inclus

    méthode getTotalHeures() → entier     // Le nombre total d'heures
    méthode getTotalMinutes() → entier    // Le nombre total de minutes
    méthode getTotalSecondes() → entier   // Le nombre total de secondes

    méthode ajouter(autreDurée : Durée)
    méthode différence(autreDurée : Durée) → Durée
    méthode plusPetit(autreDurée : Durée) → booléen
fin classe
```

```

constructeur Durée(secondes : entier)
  si secondes < 0 alors
    erreur "paramètre négatif"a
  fin si
  totalSecondes ← secondes
fin constructeur

constructeur Durée(heure, minute, seconde : entiers)
  si heure < 0 OU minute < 0 OU seconde < 0 OU minute > 59 ou seconde > 59 alors
    erreur "un des paramètres est invalide"
  fin si
  totalSecondes ← 3600*heure + 60*minute + seconde
fin constructeur

// Retourne le nombre de jours dans une représentation JJ/HH :MM :SS
méthode getJour() → entier
  retourner totalSecondes DIV (3600*24)
fin méthode

// Retourne le nombre d'heures dans une représentation JJ/HH :MM :SS
méthode getHeure() → entier
  // On doit enlever les jours éventuels
  retourner (totalSecondes DIV 3600) MOD 24
fin méthode

// Retourne le nombre de minutes dans une représentation JJ/HH :MM :SS
méthode getMinute() → entier
  // On doit enlever les heures éventuelles
  retourner (totalSecondes DIV 60) MOD 60
fin méthode

// Retourne le nombre de secondes dans une représentation JJ/HH :MM :SS
méthode getSeconde() → entier
  // On doit enlever les minutes éventuelles
  retourner totalSecondes MOD 60
fin méthode

// Retourne le nombre entier d'heures complètes
méthode getTotalHeures() → entier
  retourner totalSecondes DIV 3600
fin méthode

// Retourne le nombre entier de minutes complètes
méthode getTotalMinutes() → entier
  retourner totalSecondes DIV 60
fin méthode

// Retourne le nombre entier de secondes complètes
méthode getTotalSecondes() → entier
  retourner totalSecondes
fin méthode

méthode ajouter(autreDurée : Durée)
  totalSecondes ← totalSecondes + autreDurée.totalSecondes
fin méthode

méthode différence(autreDurée : Durée) → Durée
  retourner nouvelle Durée(valeurAbsolue(totalSecondes - autreDurée.totalSecondes))
fin méthode

méthode plusPetit(autreDurée : Durée) → booléen
  retourner totalSecondes < autreDurée.totalSecondes
fin méthode

```

<sup>a</sup>. L'instruction **erreur** indique que l'algorithme ne peut pas poursuivre normalement. Il s'arrête avec un message d'erreur.

### 2.2.5 Utilisation

Pour utiliser le nouveau type de donnée créé, il faut l'instancier, c'est-à-dire créer un nouvel objet de ce type. Nous allons utiliser le mot clé **nouveau** (ou **nouvelle** si vous jugez utile d'accorder avec le type) pour rester très proche de Java.

Illustrons cela au travers d'un petit algorithme qui calcule la différence entre deux durées.

```

algorithme diffDurée()
    durée1, durée2 : Durée                // Les variables sont déclarées/créées
    durée1 ← nouvelle Durée(3, 4, 49)    // Les objets sont créés
    durée2 ← nouvelle Durée(3, 24, 37)    // Les objets sont créés
    afficher durée2.différence(durée1)
fin algorithme

```

## 2.3 Quelques éléments de syntaxe

Clarifions certaines notations liées aux objets.

- ▷ Pour un attribut **brol**, on choisira de nommer l'accesseur **getBrol** et le mutateur **setBrol**. Dans le cas particulier d'un attribut booléen, on pourra appeler l'accesseur **isBrol** ou encore **estBrol**.
- ▷ On peut directement afficher un objet. Cela affiche son état, c'est-à-dire les valeurs de ses attributs.

```

rendezVous : Durée
rendezVous ← nouvelle Durée(14, 23, 56)
afficher rendezVous           // affichera 14, 23 et 56 dans un format lisible quelconque

```

- ▷ De même, on peut directement lire un objet, ce qui a pour effet de créer un objet avec un état correspondant aux valeurs lues pour ses attributs.

```

rendezVous : Durée
demande rendezVous

```

- ▷ Le signe « = » peut être utilisé pour comparer deux objets. Ils seront considérés comme égaux s'ils sont dans le même état, c'est-à-dire que leurs attributs ont la même valeur.
- ▷ Lorsqu'on déclare un objet, il n'est pas encore créé. On peut utiliser la valeur spéciale « rien » pour indiquer ou tester qu'un objet n'est pas encore créé.

```

parcours : Durée                // parcours = rien
parcours ← nouvelle Durée( 14, 23, 56 ) // parcours ≠ rien
si parcours ≠ rien alors
    | parcours ← rien           // parcours = rien
fin si

```

- ▷ Si une classe ne propose pas de constructeur, on peut néanmoins instancier un objet (via **nouveau** NomClasse()). On considère dans ce cas que les attributs ne sont pas initialisés.

## 2.4 Mise en pratique : le lièvre et la tortue

Partons d'un petit jeu, « Le lièvre et la tortue »<sup>2</sup>, et voyons comment le coder en OO.

### 2.4.1 Description du jeu

Un lièvre et une tortue font une course. Le lièvre est plus rapide que la tortue. Pour donner plus de chance à la tortue de gagner une course de 5 km, on adopte la règle de jeu suivante :

- ▷ On lance un dé.
- ▷ Si le 6 sort, le lièvre est autorisé à démarrer et gagne la course ; sinon on laisse la tortue avancer d'un kilomètre.
- ▷ On recommence le procédé jusqu'à la victoire du lièvre ou de la tortue.

### 2.4.2 Solution non orientée objet

Pour ne pas aller trop vite et vous perdre tout de suite, commençons par une version non orientée objet du jeu.

#### Représenter le jeu

Il faut d'abord se poser cette question : Comment représenter le jeu ? Une représentation du jeu doit être complète. C'est-à-dire qu'à partir de cette représentation, on doit pouvoir indiquer exactement où on en est dans le jeu et pouvoir le poursuivre.

Pour le dire autrement, imaginons qu'on joue à ce jeu « en vrai », sur une table de jeu. La représentation informatique doit capturer tout ce qui est pertinent dans le jeu physique de sorte que, si on range la boîte de jeu, on peut, le lendemain, reconstruire le jeu exactement comme il était.

Dans notre exemple, cela veut dire quoi ?

#### La tortue

On doit pouvoir savoir où elle en est dans son avancée. Un petit entier (de 0 à 5) reprenant son avancée en km suffit. Appelons-le `avancéeTortue` par exemple.

#### Le lièvre

Pendant le jeu, il est en permanence au départ et lorsque sort un 6, il atteint directement l'arrivée. Plusieurs possibilités s'offrent à nous :

1. On pourrait imaginer un entier valant 0 ou 5, appelé `avancéeLièvre`.
2. On pourrait aussi imaginer un booléen à vrai lorsqu'il est au départ et faux lorsqu'il est à l'arrivée. On pourrait l'appeler `lièvreAuDépart`.
3. Ou encore un booléen ayant exactement le sens inverse. Le nom devra être choisi judicieusement pour ne pas induire le lecteur en erreur. Par exemple, ici, on pourrait choisir `lièvreArrivé`.

Ici, le troisième choix nous semble le plus pertinent.

#### Le dé

Un entier de 1 à 6 suffit pour représenter le résultat d'un dé. Appelons-le simplement `dé`.

---

2. Lu sur le net : [http://mathemathieu.free.fr/2b/doc/pb\\_algo/problemes\\_et\\_algorithmique.pdf](http://mathemathieu.free.fr/2b/doc/pb_algo/problemes_et_algorithmique.pdf)

**Les joueurs**

Si on observe un jeu physique, on peut s'attarder sur les personnes en train de jouer. Faut-il les représenter ? On pourrait imaginer de connaître leur nom, le nombre de fois qu'elles ont joué à ce jeu, leur nombre de victoires. Dans l'énoncé, rien n'indique qu'il faille tenir compte de tout cela. On s'intéresse au jeu proprement dit, et c'est tout.

**Le plateau**

On peut imaginer que dans le jeu physique, il y aurait une sorte de plateau avec des km indiqués sur lequel avancerait la tortue. Mais il n'y a aucune information changeante sur ce plateau qui vaille la peine d'être retenue.

**Un macro algorithme**

Avant de se lancer dans l'écriture d'une solution détaillée du jeu, commençons par une solution non détaillée et voyons si tout semble clair et faisable.

```

algorithme jeuLièvreTortue()
  Initialiser le jeu
  tant que le jeu n'est pas fini faire
    Lancer le dé
    si le dé est 6 alors
      Le lièvre est arrivé
    sinon
      La tortue avance
    fin si
    afficher l'état du jeu
  fin tant que
  afficher le vainqueur
fin algorithme

```

**Détailler l'algorithme**

Repassons à présent sur l'algorithme et vérifions que nous pouvons détailler chacun des points restés généraux.

- ▷ **Initialiser le jeu.** Il suffit de placer la tortue en 0 et d'indiquer que le lièvre n'est pas encore arrivé. La valeur initiale du dé n'a pas d'importance.
- ▷ **Le jeu n'est pas fini.** Le jeu sera fini lorsque le lièvre sera arrivé (ce qu'on peut tester grâce au booléen `lièvreArrivé`) ou que la tortue sera au km 5.
- ▷ **Lancer le dé.** C'est trivial si on utilise l'algorithme `hasard()` à notre disposition.
- ▷ **Le lièvre est arrivé.** Il suffit de mettre le booléen `lièvreArrivé` à vrai.
- ▷ **La tortue avance.** C'est trivial.
- ▷ **Afficher l'état du jeu.** À savoir, sur quelle face est tombé le dé et où se trouvent à présent le lièvre et la tortue.
- ▷ **Afficher le vainqueur.** Ce sera le lièvre si son booléen est à vrai et la tortue sinon (dans ce cas, son avancée sera forcément de 5 puisque le jeu est fini).

Au final, on obtient :

```

algorithme jeuLièvreTortue()
  avancéeTortue : entier
  lièvreArrivé : booléen
  dé : entier

  avancéeTortue ← 0
  lièvreArrivé ← faux

  tant que avancéeTortue < 5 ET NON lièvreArrivé faire
    dé ← hasard(6)
    si dé = 6 alors
      lièvreArrivé ← vrai
    sinon
      avancéeTortue ← avancéeTortue + 1
    fin si
    afficher dé, avancéeTortue, lièvreArrivé
  fin tant que

  si lièvreArrivé alors
    afficher "Le lièvre a gagné"
  sinon
    afficher "Le tortue a gagné"
  fin si
fin algorithme

```

### 2.4.3 Solution orientée objet

Voyons à présent ce que ça pourrait donner si on introduit de l'orienté objet. Examinons d'abord les objets physiques du jeu.

#### La tortue

On peut envisager de définir une classe pour la tortue. Une tortue a une avancée. Au départ, elle est au kilomètre 0. Elle peut avancer d'un kilomètre à la fois. Elle a fini et gagne lorsqu'elle arrive au kilomètre 5.

```

classe Tortue
  privé:
    avancée : entier
  public:
    constructeur Tortue()
      avancée ← 0
    fin constructeur

    méthode avancer()
      avancée ← avancée + 1
    fin méthode

    méthode estArrivée() → booléen
      retourner avancée = 5
    fin méthode

    méthode getAvancée() → entier
      retourner avancée
    fin méthode
fin classe

```

Remarquez qu'on n'introduit pas de mutateur car on veut que la tortue n'avance qu'en respectant les règles du jeu.

**Le lièvre**

On peut appliquer la même démarche pour le lièvre qui aurait un attribut booléen indiquant s'il est arrivé ou pas.

**Le dé**

Le dé est également un objet de notre jeu et peut être défini via une classe.

```

classe Lièvre
  privé:
    | arrivé : booléen
  public:
    constructeur Lièvre()
    | arrivé ← faux
    fin constructeur

    méthode avancer()
    | arrivé ← vrai
    fin méthode

    méthode estArrivé() → booléen
    | retourner arrivé
    fin méthode
fin classe

```

```

classe Dé
  privé:
    | valeur : entier
  public:
    constructeur Dé()
    fin constructeur

    méthode lancer()
    | valeur ← hasard(6)
    fin méthode

    méthode getValeur() → entier
    | retourner valeur
    fin méthode
fin classe

```

**L'algorithme du jeu**

L'algorithme du jeu peut être réécrit en utilisant les trois classes qu'on vient de définir.

```

algorithme jeuLièvreTortue()
  tortue : Tortue
  lièvre : Lièvre
  dé : Dé

  tortue ← nouvelle Tortue()
  lièvre ← nouveau Lièvre()
  dé ← nouveau Dé()

  tant que NON tortue.estArrivée() ET NON lièvre.estArrivé() faire
    dé.lancer()
    si dé.getValeur()=6 alors
      | lièvre.avancer()
    sinon
      | tortue.avancer()
    fin si
    afficher dé.getValeur(), tortue.getAvancée(), lièvre.estArrivé()
  fin tant que

  si lièvre.estArrivé() alors
    afficher "Le lièvre a gagné"
  sinon
    afficher "Le tortue a gagné"
  fin si
fin algorithme

```

Est-ce une bonne idée d'avoir défini ces trois classes ? C'est une question qu'il est légitime de se poser quand les classes sont aussi simples. Remarquons toutefois que le code est plus modulaire et que la méthode principale est plus facile à lire.

La classe Dé se justifie d'autant plus qu'elle pourra probablement servir à de nombreuses occasions. Ce sera encore plus le cas si on la généralise à des dés qui n'ont pas forcément 6 faces.

```

classe Dé
  privé:
    nbFaces : entier
    valeur : entier
  public:
    constructeur Dé(nf : entier)
      nbFaces ← nf
    fin constructeur

    méthode lancer()
      valeur ← hasard(nbFaces)
    fin méthode

    méthode getValeur() → entier
      retourner valeur
    fin méthode
fin classe

```

Dans l'algorithme principal, le seul changement est la création du dé qui devient :

```

dé ← nouveau Dé(6)

```

#### 2.4.4 Solution MVC (« Modèle-Vue-Contrôleur »)

Dans la version OO qu'on vient de voir, on a introduit trois classes mais il reste tout un morceau, l'algorithme principal, qui n'est pas OO. Peut-on aller plus loin dans l'OO ? Bien sûr ! Mais il y a de bonnes et de mauvaises façons de le faire.

La mauvaise approche est de simplement mettre l'algorithme principal dans une classe. Ce qui donnerait :

```

classe LièvreTortue
  constructeur LièvreTortue()
  fin constructeur

  méthode jouer()
    // Idem algorithme jeuLièvreTortue() ci-avant
  fin méthode
fin classe

```

Ce qui réduirait l'algorithme principal à :

```

algorithme jeuLièvreTortue()
  jeu : LièvreTortue
  jeu ← nouveau LièvreTortue()
  jeu.jouer()
fin algorithme

```

ou même, en se passant de la variable locale :

```

algorithme jeuLièvreTortue()
  (nouveau LièvreTortue()).jouer()
fin algorithme

```

Cette approche est correcte mais n'exploite en rien les avantages de l'OO. Une meilleure idée est de suivre l'approche MVC que nous allons vous expliquer.

Dans l'approche MVC, on découpe le code en différentes parties. La partie « modèle » regroupe les bouts de code qui font vraiment quelque chose (on parle de « métier ») tandis que la partie « vue » regroupe les bouts de code qui interagissent avec l'utilisateur (demandes et affichages). La partie « contrôleur », quant à elle, conserve le code qui fait le lien entre le modèle et la vue.



Si on respecte cette approche, le métier ne contient **aucune** interaction avec l'utilisateur et la vue ne s'occupe **que** de l'interaction avec l'utilisateur. Il y a là de nombreux avantages :

- ▷ Les compétences pour écrire le modèle (connaissance du métier, accès à des bases de données...) et le dialogue avec les utilisateurs (ergonomie, graphisme...) ne sont pas les mêmes. On peut donc confier ces parties à des équipes spécialisées.
- ▷ On pourra facilement changer le dialogue avec l'utilisateur. Ainsi, si on possède une version console du jeu, il suffira, pour en faire une autre version (console, graphique, web...) de recommencer la vue (et probablement d'adapter le contrôleur) sans toucher au modèle.

**Le modèle.** Dans notre exemple, le modèle contiendrait les algorithmes suivants :

- ▷ Initialiser le jeu : placer la tortue et le lièvre à leur position de départ.
- ▷ Jouer un coup : lancer le dé et déplacer le lièvre ou la tortue.
- ▷ Tester si le jeu est fini ou pas.
- ▷ Trouver le vainqueur.

Chacun de ces algorithmes est implémenté par une méthode (sauf l'initialisation qui est du ressort du constructeur). Au niveau des attributs, on retrouve les éléments du jeu : le lièvre, la tortue et le dé.<sup>3</sup>

Ce qui donne :

```

classe LièvreTortue
  privé:
    tortue : Tortue
    lièvre : Lièvre
    dé : Dé
  public:
    constructeur LièvreTortue()
    méthode estFini() → booléen
    méthode jouerCoup()
    méthode getVainqueur() → chaîne
    // + les accesseurs (getLièvre, getTortue et getDé) des attributs mais pas les mutateurs
fin classe

```

```

constructeur LièvreTortue()
  tortue ← nouvelle Tortue()
  lièvre ← nouveau Lièvre()
  dé ← nouveau Dé(6)
fin constructeur

méthode estFini() → booléen
  retourner tortue.estArrivée() OU lièvre.estArrivé()
fin méthode

```

3. Une autre façon de voir les choses est de dire qu'on trouve en attributs les variables locales de la version non OO qui sont partagées par les différentes méthodes. Ici, il s'agit de toutes les variables locales mais ce n'est pas toujours le cas. Le dé, par exemple, n'est un attribut que parce que la vue voudra le connaître pour le montrer à l'utilisateur. Sans cela, il pourrait être une variable locale de la méthode jouerCoup().

```

méthode jouerCoup()
  dé.lancer()
  si dé.getValeur()==6 alors
    lièvre.avancer()
  sinon
    tortue.avancer()
  fin si
fin méthode

méthode getVainqueur() → chaîne
  si lièvre.estArrivé() alors
    retourner "Lièvre"
  sinon
    retourner "Tortue"
  fin si
fin méthode

```

**La vue.** Avec notre exemple, plutôt simple, il n'y a pas de lecture mais il reste des affichages :

- ▷ Afficher l'état du jeu après un coup : valeur du dé et nouvelles positions du lièvre et de la tortue.
- ▷ Afficher le vainqueur.

Cet exemple est probablement trop simple pour nécessiter une classe<sup>4</sup>. On pourrait se contenter de deux algorithmes classiques.

```

algorithme afficherÉtat(jeu : LièvreTortue)
  afficher jeu.getDé().getValeur()
  afficher jeu.getTortue().getAvancée()
  afficher jeu.getLièvre().estArrivé()
fin algorithme

algorithme afficherVainqueur(jeu : LièvreTortue)
  afficher "Le gagnant est : ", jeu.getVainqueur()
fin algorithme

```

**Le contrôleur.** Le contrôleur est ce qui n'a pas été placé dans la vue ou le modèle, c'est-à-dire le code qui crée la dynamique entre tous ces éléments.

```

algorithme jeuLièvreTortue()
  jeu : LièvreTortue
  jeu ← nouveau LièvreTortue()
  tant que NON jeu.estFini() faire
    jeu.jouerCoup()
    afficherÉtat(jeu)
  fin tant que
  afficherVainqueur(jeu)
fin algorithme

```

Remarquez la concision et la lisibilité de ce qu'on vient d'écrire.

---

4. Une erreur classique est de placer ces algorithmes dans les classes associées du modèle car cela contrevient à la règle : aucune interaction utilisateur dans le modèle.

# Chapitre 3

## La liste

Imaginons que l'on désire manipuler par programme une liste de contacts ou encore une liste de rendez-vous. Cette liste va varier ; sa taille n'est donc pas fixée. Utiliser un tableau à cet effet n'est pas l'idéal. En effet, la taille d'un tableau ne peut plus changer une fois le tableau créé. Il faudrait le surdimensionner, ce qui n'est pas économe.



Il serait intéressant de disposer d'une structure qui offre toutes les facilités d'un tableau tout en pouvant « grandir » si nécessaire. Construisons une telle structure de données et appelons-la « Liste » pour rester en phase avec son appellation commune en Java.

Par exemple, considérons une liste de courses. On pourrait la représenter ainsi :

1. "fromage"
2. "pain"
3. "salami"

On pourrait ajouter un élément en fin de liste, par exemple de l'eau, pour obtenir la liste :

1. "fromage"
2. "pain"
3. "salami"
4. "eau"

On pourrait aussi supprimer un élément de la liste, par exemple le pain, et obtenir :

1. "fromage"
2. "salami"
3. "eau"

On pourrait aussi insérer un élément dans la liste, par exemple une baguette, ce qui décale, de facto, la position des suivants.

1. "fromage"
2. "salami"
3. "baguette"
4. "eau"

Et encore plein de choses que nous allons détailler.

### 3.1 La classe Liste

Nous verrons plus loin comment réaliser une classe Liste en pratique mais nous pouvons déjà définir le comportement qu'on en attend (les méthodes qu'elle doit fournir).

Ce comportement sera identique quel que soit le type des éléments de la liste; une liste de chaînes et une liste d'entiers ne se distinguent que par le type de certains paramètres et valeurs de retour. Ici, nous indiquons  $T$  pour indiquer un type quelconque; vous pouvez le remplacer par ce qui vous convient : entier, chaîne, Date...

```

classe Liste de T // T est un type quelconque
privé:
    // sera complété plus tard
public:
    constructeur Liste de T() // construit une liste vide
    méthode get(pos : entier) → T // donne un élément en position pos
    méthode set(pos : entier, valeur : T) // modifie un élément en position pos
    méthode taille() → entier // donne le nombre actuel d'éléments
    méthode ajouter(valeur : T) // ajoute un élément en fin de liste
    méthode insérer(pos : entier, valeur : T) // insère un élément en position pos
    méthode supprimer() // supprime le dernier élément
    méthode supprimerPos(pos : entier) // supprime l'élément en position pos
    méthode supprimer(valeur : T) → booléen // supprime l'élément de valeur donnée
    méthode vider() // vide la liste
    méthode estVide() → booléen // la liste est-elle vide ?
    méthode existe(valeur ↓ : T, pos ↑ : entier) → booléen // recherche un élément
fin classe

```

Quelques précisions s'imposent :

- ▷ Les méthodes « **get** » et « **set** » permettent de connaître ou modifier un élément de la liste. On considère, au cours d'algorithmique, que le premier élément de la liste est en position 0.
- ▷ « **ajouter** » ajoute un élément en fin de liste (elle grandit donc d'une unité)
- ▷ « **insérer** » insère un élément à une position donnée (entre 0 et taille-1). L'élément qui s'y trouvait est décalé d'une position ainsi que tous les éléments suivants.
- ▷ La méthode « **supprimerPos** » supprime un élément d'une position donnée en décalant les éléments suivants. On pourrait imaginer une technique plus rapide consistant à placer le dernier élément à la place de l'élément supprimé mais ce faisant on changerait l'ordre relatif des éléments ce qui va à l'encontre de l'idée intuitive qu'on se fait d'une liste. Cette amélioration pourrait plutôt s'envisager dans une structure de type **ensemble** pour lequel il n'y a pas d'ordre relatif entre les éléments.
- ▷ La version de « **supprimer** » avec une valeur en paramètre enlève un élément de valeur donnée. Elle retourne un booléen indiquant si la suppression a pu se faire ou pas (ce qui sera le cas si la valeur n'est pas présente dans la liste). Si la valeur existe en plusieurs exemplaires, on prendra la convention arbitraire que la méthode n'en supprime que la première occurrence.
- ▷ La méthode « **existe** » permet de savoir si un élément donné existe dans la liste.
  - ▷ si c'est le cas, elle précise aussi sa position dans le paramètre sortant **pos**
  - ▷ si l'élément n'existe pas, ce paramètre est indéterminé
  - ▷ si l'élément est présent en plusieurs exemplaires, la méthode donne la position de la première occurrence.
- ▷ En pratique, il serait intéressant de chercher un élément à partir d'une partie de l'information qu'elle contient mais c'est difficile à exprimer de façon générique c'est-à-dire lorsque le type n'est pas connu a priori.

**Exemple : manipulations de base**

Soit l'algorithme suivant :

```

algorithme ex1()
  l : Liste d'entiers
  l ← nouvelle Liste d'entiers()
  l.ajouter(42)
  l.ajouter(54)
  l.set(1,44)
  l.insérer(1,43)
  l.supprimerPos(2)
  l.supprimer(42)
  l.vider
fin algorithme

```

Après sa création, la liste est vide. Ensuite, elle passe par les états suivants :

0.	42	0.	42	0.	42	0.	42	0.	42	0.	43
		1.	54	1.	44	1.	43	1.	43		
						2.	44				

Enfin, le dernier appel la vide complètement

**Exemple : recherche du minimum**

Dans le chapitre sur les tableaux, vous avez fait un exercice consistant à afficher tous les indices où se trouve le minimum d'un tableau. Reprenons-le et modifions-le afin qu'il retourne la liste des indices où se trouvent les différentes occurrences du minimum. On pourrait l'écrire ainsi :

```

algorithme indicesMinimum(tab : tableau de n entiers) → Liste d'entiers
  min : entier
  indicesMin : Liste d'entiers
  min ← tab[0]
  indicesMin ← nouvelle Liste d'entiers()
  indicesMin.ajouter( 0 )
  pour i de 1 à n-1 faire
    si tab[i] = min alors
      indicesMin.ajouter( i )
    sinon si tab[i] < min alors
      indicesMin.vider()
      indicesMin.ajouter( i )
      min ← tab[i]
    fin si // rien à faire si tab[i] > min
  fin pour
  retourner indicesMin
fin algorithme

```

## 3.2 Comment implémenter l'état

Cette liste est bien utile mais comment la réaliser en pratique ? Comment représenter une liste variable d'éléments ? Pour l'instant, la seule structure qui peut accueillir plusieurs éléments de même type est le tableau. Nous allons donc prendre comme attribut principal de la liste un tableau que nous appellerons **éléments**. Comment, dès lors, contourner le problème de la limitation de la taille de ce tableau ?

Repartons donc de la notion de tableau et tentons de comprendre sa limitation. Lors de sa création, un tableau se voit attribuer un espace bien précis et contigu en mémoire. Il se peut

très bien que l'espace « juste après » soit occupé par une autre variable ce qui l'empêche de grandir. La parade est claire : si un tableau s'avère trop petit lors de son utilisation, il suffit d'en créer un autre plus grand ailleurs en mémoire et d'y recopier tous les éléments du premier. Évidemment, cette opération est couteuse en temps et on cherchera à l'effectuer le moins souvent possible.

**Quelle taille donner au nouveau tableau ?** L'idée qui vient immédiatement est d'augmenter la taille d'une unité afin d'accueillir le nouvel élément mais cette approche implique de fréquents agrandissements. Il est plus efficace d'augmenter la taille proportionnellement, par exemple en la multipliant par un facteur 2.

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 5 & 7 \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 5 & 7 & . & . & . \\ \hline \end{array}$$

**Taille logique et taille physique.** À tout moment, le tableau aura une et une seule taille même si celle-ci pourra changer au cours du temps. Puisqu'on multipliera la taille du tableau par 2 pour des raisons d'efficacité, il y aura toutefois une différence entre la **taille physique** d'un tableau et sa **taille logique**. La taille physique est le nombre de cases réservées pour le tableau alors que la taille logique est le nombre de cases effectivement occupées. Dans ce qui suit, on s'arrangera pour que les cases occupées soient groupées à gauche du tableau (il n'y a pas de trou). Pour l'utilisateur, seule la taille logique a un sens (on lui cache les détails d'implémentation).

**Exemple :** pour le tableau suivant, la taille logique est de 6 (c'est cette taille qui a du sens pour l'utilisateur de la liste) et la taille physique est de 8.

2	5	4	8	3	12	.	.
---	---	---	---	---	----	---	---

Quand il faut insérer un élément (en position valide) ou en ajouter un en fin de liste, deux cas se présentent :

- ▷ si la taille logique est plus petite que la taille physique, il suffit d'ajouter l'élément dans le tableau et d'adapter la taille logique.
- ▷ si la taille logique est égale à la taille physique, il faut procéder à un agrandissement du tableau.

**Les tableaux dynamiques.** En *DEV1*, nous n'avons vu que des tableaux qu'on appellera *statiques*, qui sont créés lors de leur déclaration. Ici, nous avons besoin de tableaux qu'on appellera *dynamiques*, créés dans le code (comme le sont les tableaux en Java).

Introduisons une notation. Un tableau dynamique sera déclaré puis créé ainsi :

```
tab : tableau de chaines
tab ← nouveau tableau de n chaines           // n doit avoir une valeur
```

**Implémentation.** Présentons les attributs nécessaires et l'algorithme d'agrandissement du tableau.

```

classe Liste de T
  privé:
    éléments : tableau de T
    tailleLogique : entier
    taillePhysique : entier
  privé:
    méthode agrandir()
      nouveauTab : tableau de T
      taillePhysique ← taillePhysique * 2
      nouveauTab ← nouveau tableau de taillePhysique T
      pour i de 0 à tailleLogique-1 faire
        nouveauTab[ i ] ← éléments[ i ]
      fin pour
      éléments ← nouveauTab
    fin méthode
fin classe

```

**Réduction du tableau.** Tout comme on agrandit le tableau si nécessaire, on pourrait le réduire lorsque des suppressions d'éléments le rendent sous-utilisé (par exemple lorsque la taille logique devient inférieure au tiers de la taille physique). Nous n'aborderons pas cette problématique cette année.

### 3.3 Implémentation du comportement

Nous avons à présent toutes les cartes en main pour écrire les méthodes publiques de la classe.

```

constructeur Liste de T()
  tailleLogique ← 0
  taillePhysique ← 32
  éléments ← nouveau tableau de taillePhysique T
fin constructeur

```

// la liste est vide au départ  
// une bonne valeur pour commencer

```

méthode get(pos : entier) → T
  si pos < 0 OU pos ≥ tailleLogique alors
    erreur "position invalide"
  fin si
  retourner éléments[ pos ]
fin méthode

```

```

méthode set(pos : entier, valeur : T)
  si pos < 0 OU pos ≥ tailleLogique alors
    erreur "position invalide"
  fin si
  éléments[ pos ] ← valeur
fin méthode

```

```

méthode taille() → entier
  retourner tailleLogique
fin méthode

```

// et pas la taille physique !

```

méthode ajouter(valeur : T)
  si tailleLogique = taillePhysique alors
    agrandir()
  fin si
  éléments[ tailleLogique ] ← valeur
  tailleLogique ← tailleLogique + 1
fin méthode

```

// méthode privée détaillée supra

```

méthode insérer(pos : entier, valeur : T)
  si pos < 0 OU pos ≥ tailleLogique alors
    erreur "position invalide"
  fin si
  si tailleLogique = taillePhysique alors
    agrandir()
  fin si
  décalerDroite( pos ) // voir ci-dessous
  tailleLogique ← tailleLogique + 1
  éléments[ pos ] ← valeur
fin méthode

```

```

méthode supprimer()
  // supprime le dernier élément
  si tailleLogique = 0 alors
    erreur "liste vide"
  fin si
  tailleLogique ← tailleLogique - 1
fin méthode

```

```

méthode supprimerPos(pos : entier)
  si pos < 0 OU pos ≥ tailleLogique alors
    erreur "position invalide"
  fin si
  décalerGauche( pos + 1 ) // voir méthode ci-dessous
  tailleLogique ← tailleLogique - 1
fin méthode

```

```

méthode supprimer(valeur : T) → booléen
  estPrésent : booléen
  pos : entier
  estPrésent ← existe(valeur, pos)
  si estPrésent alors
    supprimerPos( pos )
  fin si
  retourner estPrésent
fin méthode

```

```

méthode vider()
  tailleLogique ← 0 // Les éléments ne sont pas effacés mais sont ignorés
fin méthode

```

```

méthode estVide() → booléen
  retourner tailleLogique = 0
fin méthode

```

```

méthode existe(valeur↓ : T, pos↑ : entier) → booléen
  pos ← 0
  // Rq : le ET ci-dessous est une évaluation court-circuitée (cf. le cours d'Algo en DEV1)
  tant que pos < tailleLogique ET éléments[ pos ] ≠ valeur faire
    pos ← pos + 1
  fin tant que
  retourner pos < tailleLogique
fin méthode

```



```
// Ces méthodes-ci sont privées

méthode décalerDroite(début : entier)
    // Décale tous les éléments d'une position vers la droite à partir de début
    pour i de tailleLogique-1 à début par -1 faire
        éléments[ i + 1 ] ← éléments[ i ]
    fin pour
fin méthode

méthode décalerGauche(début : entier)
    // Décale toutes les éléments d'une position vers la gauche à partir de début ;
    // ce paramètre vaut toujours au moins 1.
    pour i de début à tailleLogique-1 faire
        éléments[ i - 1 ] ← éléments[ i ]
    fin pour
fin méthode
```

La recherche se fait sur un élément complet.



Prenons comme exemple une liste de contacts. Lors d'une recherche, on doit fournir **tout** le contact à rechercher. Il s'agit juste de savoir s'il est présent et où. Une autre méthode intéressante serait de retrouver un contact à partir d'une partie de l'information, par exemple son nom. Cette méthode est fort proche de notre méthode de recherche mais il serait très difficile de l'écrire génériquement. On vous demandera d'écrire explicitement une telle méthode de recherche en cas de besoin.

### 3.4 Et sans tableau dynamique ?

Certains langages (c'est le cas de Cobol) ne permettent pas de créer dynamiquement un nouveau tableau. Il vous faudra travailler avec un tableau classique en le créant suffisamment grand.

Les algorithmes d'ajout/suppression/recherche vus pour la liste peuvent être appliqués tels quels à un tableau statique à une modification près : lors d'un ajout dans un tableau plein, on ne peut pas l'agrandir ; il faut générer une erreur.

### 3.5 Exercices

#### 1 Manipulation d'une liste

Écrire un algorithme qui crée la liste suivante :

- 0. 494
- 1. 209
- 2. 425

affiche sa taille, demande si la valeur 425 est présente, supprime la valeur 209 puis insère la valeur 101 en tête de liste.

#### 2 Liste des premiers entiers

Écrire un algorithme qui reçoit un entier  $n$  en paramètre et retourne la liste contenant les entiers de 1 à  $n$  dans l'ordre décroissant. On peut supposer que  $n$  est strictement positif.

### 3 Somme d'une liste



Écrire un algorithme qui calcule la somme des éléments d'une liste d'entiers.

### 4 Les extrêmes



Écrire un algorithme qui supprime le minimum et le maximum des éléments d'une liste d'entiers. On peut supposer que le maximum et le minimum sont uniques.

### 5 Anniversaires

Écrire un algorithme qui reçoit une liste de structure *Personne* (nom + prénom + date de naissance) et retourne la liste de ceux qui sont nés durant un mois passé en paramètre (donné sous la forme d'un entier entre 1 et 12).

### 6 Concaténation de deux listes



Écrire un algorithme qui reçoit 2 listes et ajoute à la suite de la première les éléments de la seconde ; la seconde liste n'est pas modifiée par cette opération.

### 7 Fusion de deux listes



Soit deux listes **triées** d'entiers (redondances possibles). Écrire un algorithme qui les fusionne. Le résultat est une liste encore triée contenant tous les entiers des deux listes de départ (qu'on laisse inchangées).

Exemple : Si les 2 listes sont (1, 3, 7, 7) et (3, 9), le résultat est (1, 3, 3, 7, 7, 9).

### 8 Le nettoyage

Écrire un algorithme qui reçoit une liste de chaînes en paramètre et supprime de cette liste tous les éléments de valeur donnée en paramètre. L'algorithme retournera le nombre de suppressions effectuées.

### 9 Éliminer les doublons d'une liste



Soit une liste **triée** d'entiers avec de possibles redondances. Écrire un algorithme qui enlève les redondances de la liste.

Exemple : Si la liste est (1, 3, 3, 7, 8, 8, 8), le résultat est (1, 3, 7, 8).

- a) Faites l'exercice en créant une **nouvelle liste** (la liste de départ reste inchangée)
- b) Refaites l'exercice en **modifiant** la liste de départ (pas de nouvelle liste)

### 10 Rendez-vous

Soit la structure « *RendezVous* » composée d'une date et d'un motif de rencontre. Écrire un algorithme qui reçoit une liste de rendez-vous et la met à jour en supprimant tous ceux qui sont désormais passés.

# Chapitre 4

## Représentation des données

Nous voici arrivés au terme de ce cours d'algorithmique. Ce chapitre apporte une synthèse des différentes notions vues tout au long de vos cours d'algorithmiques de 1<sup>re</sup> année et propose quelques pistes de réflexion quant au choix d'une bonne représentation des données qui se pose lors de la résolution de problèmes de programmation avancés.

Pour la plupart de ces exercices, la difficulté tient en partie dans le bon choix d'une représentation des données et de la démarche algorithmique la plus adéquate à mettre en œuvre pour agir sur ces données en vue d'obtenir le résultat escompté. Noter que l'efficacité d'un algorithme est liée étroitement au choix de la représentation.

### 4.1 Se poser les bonnes questions

Revenons à la case départ : nous avons commencé le cours d'algorithmique de DEV1 en situant les notions de **problème** et de **résolution**. Nous avons vu qu'un problème bien spécifié s'inscrit dans le schéma :

**étant donné** [la situation de départ] **on demande** [l'objectif]

Une fois le problème correctement posé, on peut partir à la recherche d'une **méthode de résolution**, c'est-à-dire d'un algorithme en ce qui concerne les problèmes à résoudre par les moyens informatiques.

Tout au long de l'année, nous avons vu divers modèles et techniques algorithmiques adaptés à des structures particulières (les nombres, les chaînes, les tableaux, les variables structurées, les objets, les listes. . .). La plupart des exercices portaient directement sur ces structures (par ex. calculer la somme des nombres d'un tableau, extraire une sous-liste à partir d'une liste donnée). Ces exercices d'entraînement et de formation quelque peu théoriques constituent en fait des démarches algorithmiques de base qui trouvent toutes une place dans des problèmes plus complexes.

Mais la plupart des problèmes issus des situations de la vie courante auxquels se confronte le programmeur s'expriment généralement de manière plus floue : par ex. dresser la comptabilité des dépenses mensuelles d'une firme, faire un tableau récapitulatif du résultat des élections par cantons électoraux, faire une version informatique d'un jeu télévisé. . . Les exemples sont infinis !

C'est dans le cadre de ce genre de problème plus complexe que se pose le problème de la **représentation de données**. Une fois le problème bien spécifié (par les données et l'objectif) apparaissent naturellement les questions suivantes : quelles données du problème

sont réellement utiles à sa résolution ? (Il est fréquent que l'énoncé d'un problème contienne des données superflues ou inutiles). Y a-t-il des données plus importantes que d'autres ? (données principales ou secondaires). Les données doivent-elles être consultées plusieurs fois ? Quelles données faut-il conserver en mémoire ? Sous quelle forme ? Faut-il utiliser un tableau ? Une liste ? Faut-il créer une nouvelle classe ? Les données doivent-elles être classées suivant un critère précis ? Ou la présentation brute des données suffit-elle pour solutionner le problème posé ?

Les réponses ne sont pas directes, et les différents outils qui sont à notre disposition peuvent être ou ne pas être utilisés. Il n'y a pas de règles précises pour répondre à ces questions, c'est le flair et le savoir-faire développés patiemment par le programmeur au fil de ses expériences et de son apprentissage qui le guideront vers la solution la plus efficace. Parfois plusieurs solutions peuvent fonctionner sans pouvoir départager la meilleure d'entre elles.

Ce type de questionnement est peut-être l'aspect le plus délicat et le plus difficile de l'activité de programmation, car d'une réponse appropriée dépendra toute l'efficacité du code développé. Un mauvais choix de représentation des données peut mener à un code lourd et maladroit. En vous accompagnant dans la résolution des exercices qui suivent, nous vous donnerons quelques indices et pistes de réflexion, qui seront consolidées par l'expérience acquise lors des laboratoires de langages informatiques ainsi que par les techniques de modélisation vues au cours d'analyse.

## 4.2 Les structures de données

Rappelons brièvement les différentes structures étudiées dans ce cours :

- ▷ les **données « simples »** (variables isolées : entiers, réels, chaînes, caractères, booléens) ;
- ▷ les **variables structurées**, qui regroupent en une seule entité une collection de variables simples ;
- ▷ le **tableau**, qui contient un nombre déterminé de variables de même type, accessibles via un indice ou plusieurs pour les tableaux multidimensionnels ;
- ▷ les **objets**, qui combinent en un tout une série d'attributs et des méthodes agissant sur ces attributs ;
- ▷ la **Liste**, qui peut contenir un nombre indéfini d'éléments de même type.

D'autres structures particulières s'ajouteront dans le cours d'algorithmique de DEV4 : les listes chaînées, les piles, les files, les arbres et les graphes.

Chacune de ces structures possède ses spécificités propres quant à la façon d'accéder aux valeurs, de les parcourir, de les modifier, d'ajouter ou de supprimer des éléments à la collection.

## 4.3 Exercices

### 1 La course à la case 64 à 4 joueurs

Commençons par un petit jeu très simple de course avec un dé, dont voici les règles.

« Ce jeu se joue à 4 joueurs qui doivent parcourir un chemin de 64 cases. Ils commencent tous sur la case 1 et jouent à tour de rôle (en commençant par le premier joueur). À son tour, le joueur lance un dé à 6 faces et avance du nombre de cases indiqué par le dé. Le premier joueur à atteindre ou dépasser la case 64 a gagné. Seule contrainte, un joueur ne peut pas terminer son tour sur une case occupée. Si c'est le cas, il avance jusqu'à la case libre suivante. »

Voici 3 propositions de représentation de données. On vous demande pour chaque proposition de vérifier, sans écrire l'algorithme, si elle permet la programmation du jeu. On vous conseille vivement de « dessiner »<sup>1</sup> les propositions pour mieux les comprendre.

1. Un tableau de 64 entiers. La case  $k$  contient  $i$  si le joueur  $i$  s'y trouve ou 0 si la case est libre. Mais aussi un entier `joueurCourant` donnant le numéro du joueur courant.
2. Un tableau de 4 entiers. La case  $i$  contient la position du joueur  $i$ . Mais aussi un entier `joueurCourant` donnant le numéro du joueur courant.
3. On combine les deux premières propositions (on a donc deux tableaux).

Après ces vérifications vous choisirez une des représentations pour écrire la solution (non OO à ce stade) du jeu. Pensez à découper votre solution.

### 2 La course à la case 64 à $n$ joueurs

Modifiez l'exercice précédent afin que le jeu puisse se jouer à  $n$  joueurs, où  $n$  est un entier supérieur ou égal à 2, choisi au début du jeu.

### 3 La course à la case 64 à $n$ joueurs - variantes

Reprenons la course à la case 64 de l'exercice précédent. Voici quelques propositions de modification des règles. Pour chaque proposition, indiquez si la représentation choisie dans l'exercice précédent est toujours valable et pertinente.

1. Si un joueur arrive sur une case occupée, le joueur qui s'y trouvait retourne à la première case.
2. Si un joueur termine sa course sur une case qui est un multiple de 5, il rejoue directement.
3. Un joueur rejoue directement s'il termine sa course sur les cases 1, 2, 7, 11, 17, 31, 42 ou 53.

### 4 Un jeu de poursuite

Deux joueurs A et B se poursuivent sur un circuit de 50 cases. Au départ, A se trouve sur la case 1 et B est placé sur la case 26. C'est A qui commence. Chaque joueur joue à son tour en lançant un dé dont la valeur donne le nombre de cases duquel il doit avancer sur le jeu. Lorsqu'un joueur arrive sur la case 50 et qu'il doit encore avancer, il continue son parcours à partir de la case 1. Le jeu se termine lorsqu'un joueur rattrape ou dépasse l'autre.

Écrire un algorithme (non OO pour le moment) de simulation de ce jeu qui se terminera par l'affichage du vainqueur ainsi que le nombre de tours complets parcourus par ce vainqueur.

1. Par là, on veut dire : imaginer une situation de jeu (positions des joueurs sur le chemin par exemple) et voir quelles valeurs doivent avoir les variables introduites dans la représentation pour correspondre à cette situation de jeu.

Il est important de bien découper votre algorithme. On vous suggère d'écrire les algorithmes suivant :

- ▷ un algorithme `initialiser()` qui initialise le jeu (placement des joueurs...);
- ▷ un algorithme « `jouerCoup` » qui joue pour un joueur et indique s'il a rattrapé l'autre joueur;
- ▷ un algorithme « `joueurSuivant` » qui permet de passer au joueur suivant.

À nouveau, on vous fait plusieurs propositions pour la représentation de l'état du jeu. On vous demande pour chacune d'elles de vérifier, sans écrire les méthodes de la classe, si elles permettent la programmation du jeu. Après ces vérifications vous choisirez une des représentations pour écrire la classe complète.

1. Dans cette proposition, nous avons deux attributs.

- ▷ `circuit` : un tableau de 1 à 50 chaînes de caractères. Les chaînes de caractères représenteront la position des joueurs (au départ, "A" en 1 et "B" en 26, " " dans les autres positions).
- ▷ `joueurCourant` : un entier donnant la position du joueur courant.

2. Cette proposition introduit une structure `Joueur` et le nombre de tours.

- ▷ `circuit` : un tableau de 1 à 50 éléments `Joueur`, une structure.

```

structure Joueur
|   nom : chaîne           // Le nom du joueur à cette position ("A", "B" ou " " si la case est vide)
|   nbTours : entier       // Nb de tours qu'a fait le joueur qui est à cette position (0 si case vide)
fin structure

```

Un joueur a fait un tour complet quand il est de nouveau sur sa position de départ ou la dépasse.

- ▷ `joueurCourant` : un entier donnant la position du joueur courant.

3. Dans cette proposition, le tableau change de signification.

- ▷ `circuit` : un tableau de 2 éléments `Joueur`, une structure différente.

```

structure Joueur
|   position : entier      // Donne la position du joueur sur le circuit (entier entre 1 et 50)
|   nbTours : entier       // Le nombre de tours qu'a fait ce joueur
fin structure

```

- ▷ `joueurCourant` : un entier donnant la position du joueur courant.

4. Cette proposition est identique à la précédente sauf sur un point :

- ▷ On ne retient plus le nombre de tours effectués mais simplement le nombre de cases parcourues. Par exemple, si un joueur a fait exactement deux tours complets, le nombre de cases parcourues sera de 100.

```

structure Joueur
|   position : entier      // Donne la position du joueur sur le circuit (entier entre 1 et 50)
|   nbCasesParcourues : entier // Nb de cases parcourues par le joueur depuis le départ
fin structure

```

## 5 Un jeu de poursuite - variante

Dans cette variante, chaque case contient une valeur vrai ou faux indiquant si le joueur pourra rejouer. Si la case sur laquelle tombe le joueur contient la valeur vrai il avance encore une fois du même nombre de cases (et de même s'il tombe encore sur vrai).

Qu'est-ce que cela change au niveau des données ? Modifiez votre solution en conséquence.

Pour adapter le code, il faudra adapter les paramètres fournis à l'algorithme d'initialisation et à l'algorithme qui joue un coup. Nous vous conseillons également de ne pas modifier l'algorithme `jouerCoup` mais d'introduire un nouvel algorithme (par ex. `jouerTour`) qui y fait appel plusieurs fois si nécessaire.

## 6 Le Jeu du Millionnaire

Un questionnaire de quinze questions à choix multiples de difficulté croissante est soumis à un candidat. Quatre possibilités de réponses (dont une seule est correcte) sont proposées à chaque fois. Au plus le candidat avance dans les bonnes réponses, au plus son gain est grand. S'il répond correctement aux quinze questions, il empoche la somme rondelette de 500.000 €.

Par contre, si le candidat donne une mauvaise réponse, il risque de perdre une partie du gain déjà acquis. Cependant, certains montants intermédiaires constituent des paliers, c'est-à-dire une somme acquise que le candidat est sûr d'empocher, quoiqu'il arrive dans la suite du jeu.

À chaque question, le candidat a donc trois possibilités :

- ▷ il donne la réponse correcte : dans ce cas il augmente son gain, et peut passer à la question suivante
- ▷ il ne connaît pas la réponse, et choisit de s'abstenir : dans ce cas, le jeu s'arrête et le candidat empoche le gain acquis à la question précédente
- ▷ il donne une réponse incorrecte : le jeu s'arrête également, mais le candidat ne recevra que le montant du dernier palier qu'il a atteint et réussi lors de son parcours. En particulier, si le candidat se trompe avant d'avoir atteint le premier palier, il ne gagne pas un seul euro !

1	25 €	faux
2	50 €	faux
3	125 €	faux
4	250 €	faux
5	500 €	vrai
6	1000 €	faux
7	2000 €	faux
8	3750 €	faux
9	7500 €	faux
10	12500 €	vrai
11	25000 €	faux
12	50000 €	faux
13	100000 €	vrai
14	250000 €	faux
15	500000 €	vrai

Exemple : Le tableau ci-contre contient les gains associés à chaque question et une indication booléenne mise à **vrai** lorsque la question constitue un palier. Un concurrent qui se trompe à la question 3 ne gagnera rien ; un concurrent qui se trompe à la question 6 gagnera 500 € (palier de la question 5) et de même s'il se trompe à la question 10 ; un concurrent qui se trompe à la question 13 gagnera 12500 € (palier de la question 10) ; s'il décide de ne pas répondre à la question 13, il garde le montant acquis à la question 12, soit 50000 €.

Il y aurait de nombreuses façons de coder ce problème ; en voici une :

### La structure Question

Une question est composée du libellé de la question, des 4 libellés pour les réponses et d'une indication de la bonne réponse (un entier de 1 à 4). Par simplicité on en fait une structure mais on pourrait en faire une classe si on voulait par exemple vérifier que la « bonne réponse » possède une valeur correcte.

### La structure Gain

Représente un niveau de gain. Elle contient les champs : montant (entier) et palier (un booléen à **vrai** si cette somme est assurée, **faux** sinon)

### La classe Millionnaire

Cette classe code le moteur du jeu. On y retrouve

- ▷ questionnaire : un tableau de Question
- ▷ gains : un tableau de Gain
- ▷ autres attributs à déterminer (cf. méthodes)

ainsi que les méthodes pour

- ▷ initialiser le jeu à partir d'un questionnaire et du tableau de gains
- ▷ connaître la question en cours
- ▷ donner la réponse du candidat à la question en cours
- ▷ savoir si le jeu est fini ou pas
- ▷ arrêter le jeu en repartant avec les gains
- ▷ les accesseurs nécessaires pour connaître l'état du jeu.

### Le jeu proprement dit

L'algorithme `jeuMillionnaireConsole()` reçoit le questionnaire et les gains et simule le jeu :

- ▷ Il propose les questions au candidat
- ▷ Il lit ses réponses (chiffre 1 à 4 ou 0 pour arrêter) et fait évoluer le jeu en fonction.
- ▷ lorsque le jeu est terminé, il indique au candidat le montant de ses gains.
- ▷ Attention ! Cet algorithme devrait être le plus petit possible. Imaginez que vous devez également coder une version graphique. Tout code commun doit se trouver dans la classe `Millionnaire` !

## 7 Chambre avec vue

Un grand hôtel a décidé d'informatiser sa gestion administrative. Il a confié ce travail à la société `ESI_INFO` dans laquelle vous êtes un informaticien chevronné. On vous a confié la tâche particulière de la gestion des réservations pour ses 100 chambres. Pour ce faire, on vous demande d'écrire une classe `Hôtel` qui offre notamment une méthode qui permet d'enregistrer une réservation.

Pour représenter l'occupation des chambres un jour donné, nous allons utiliser un tableau de 100 entiers. Un 0 indique que la chambre est libre, une autre valeur (positive) indique le numéro du client qui occupe cette chambre ce jour-là.

Nous utiliserons une Liste de tels tableaux pour représenter l'occupation des chambres sur une longue période ; les éléments se suivant correspondant à des jours successifs.

Nous vous imposons les attributs de la classe, à savoir :

- ▷ **occupations** : une Liste de tableaux de 100 entiers comme expliqué ci-dessus.
- ▷ **premierJour** : donne le jour concerné par le premier élément de la liste. Ainsi s'il vaut 10/9/2015 cela signifie que le premier élément de la liste « **occupations** » renseigne sur l'occupation des chambres ce 10/9/2015 ; que le deuxième élément de la liste concerne le 11/9/2015 et ainsi de suite...

Écrire la méthode suivante

**algorithme** `effectuerRéservation(demande↓ : DemandeRéservation, chambre↑ : entier) → booléen`

où la structure de demande de réservation est définie ainsi

```
structure DemandeRéservation
    numéroClient : entier
    débutRéservation : Date
    nbNuitées : entier
fin structure
```

- ▷ Le booléen retourné indique si la réservation a pu se faire ou pas
- ▷ Si elle a pu se faire, le paramètre de sortie **chambre** indique la chambre qui a été choisie
- ▷ Si plusieurs chambres sont libres, on choisit celle avec le plus petit numéro
- ▷ La demande de réservation peut couvrir une période qui n'est pas encore reprise dans la liste ; il faudra alors l'agrandir



## 8 L'ensemble

La notion d'ensemble fini est une notion qui vous est déjà familière pour l'avoir rencontrée dans plusieurs cours. Nous rappelons certaines de ses propriétés et opérations.

Étant donnés deux ensembles finis **S** et **T** ainsi qu'un élément **x** :

- ▷  $x \in S$  signifie que l'élément **x** est un élément de l'ensemble **S**.
- ▷ L'ensemble vide, noté  $\emptyset$  est l'ensemble qui n'a pas d'élément ( $x \in \emptyset$  est faux quel que soit **x**).
- ▷ L'ordre des éléments dans un ensemble n'a aucune signification, l'ensemble  $\{1,2\}$  est identique à  $\{2,1\}$ .
- ▷ Un élément **x** ne peut pas être plus d'une fois élément d'un même ensemble (pas de répétition).
- ▷ L'union  $S \cup T$  est l'ensemble contenant les éléments qui sont dans **S** ou (non exclusif) dans **T**.
- ▷ L'intersection  $S \cap T$  est l'ensemble des éléments qui sont à la fois dans **S** et dans **T**.
- ▷ La différence  $S \setminus T$  est l'ensemble des éléments qui sont dans **S** mais pas dans **T**.

Créer la classe **Ensemble** décrite ci-dessous.

```

classe Ensemble de E                                // E est le type des éléments de l'ensemble
public:
    constructeur Ensemble de E()                      // construit un ensemble vide
    méthode ajouter(élt : E)                          // ajoute l'élément à l'ensemble
    méthode enlever(élt : E)                          // enlève un élément de l'ensemble
    méthode contient(élt : E) → booléen                // dit si l'élément est présent
    méthode estVide() → booléen                       // dit si l'ensemble est vide
    méthode taille() → entier                         // donne la taille de l'ensemble
    méthode union(autreEnsemble : Ensemble de E) → Ensemble de E
    méthode intersection(autreEnsemble : Ensemble de E) → Ensemble de E
    méthode moins(autreEnsemble : Ensemble de E) → Ensemble de E
    méthode éléments() → Liste de E                  // conversion en liste
fin classe

```

Quelques remarques :

- ▷ La méthode d'ajout (resp. de suppression) n'a pas d'effet si l'élément est déjà (resp. n'est pas) dans l'ensemble.
- ▷ Les méthodes **union()**, **intersection()** et **moins()** retournent un troisième ensemble, résultat des 2 premiers sans toucher à ces 2 ensembles. On aurait pu envisager des méthodes modifiant l'ensemble sur lequel on les appelle.
- ▷ La méthode **éléments()** est nécessaire si on veut parcourir les éléments de l'ensemble (par exemple pour les afficher).

## 9 La course à la case 64 en version OO

Reprenez la solution que vous avez écrite pour l'exercice 2 (La course à la case 64 à n joueurs) et voyez comment le transformer pour en faire une version OO.

## 10 Un jeu de poursuite en version OO

Reprenez la solution que vous avez écrite pour l'exercice 5 (Un jeu de poursuite - variante) et voyez comment le transformer pour en faire une version OO.

## 11 Les congés

Les périodes de congés des différents employés d'une firme sont reprises dans un tableau booléen **Congés** bidimensionnel à  $n$  lignes et 366 colonnes. Chaque ligne du tableau correspond à un employé et chaque colonne à un jour de l'année. Une case de ce tableau est mise à **vrai** si l'employé correspondant est en congé le jour correspondant. La firme en question est opérationnelle 7 jours sur 7, on n'y fait donc pas de distinction entre jours ouvrables, week-end et jours fériés.

Ce tableau permet de visualiser l'ensemble des congés des travailleurs, et d'accorder ou non une demande de congé, suivant les règles suivantes :

1. une période de congé ne peut excéder 15 jours ;
2. un employé a droit à maximum 40 jours de congé par an ;
3. à tout moment, 50% des employés doivent être présents dans la firme.

Écrire un algorithme qui détermine si cette demande peut être accordée ou non à un employé dont on connaît le nom, ainsi que les dates de début et de fin d'une demande de congé (objets de la classe `Date`). Dans l'affirmative, le tableau **Congés** sera mis à jour.

Pour établir la correspondance entre ce tableau et les noms des employés, vous avez à votre disposition un tableau **Personnel** de chaînes. L'emplacement du nom d'un employé dans ce tableau correspond à l'indice ligne du tableau **Congés**.

Il est permis d'utiliser pour résoudre cet exercice la méthode suivante de la classe `Date`, sans devoir détailler son code :

**algorithme** `numéroJour()` → entier // la position du jour dans l'année (entre 1 et 366)

## 12 Casino

Pour cet exercice, on vous demande un petit programme qui simule un jeu de roulette très simplifié dans un casino.

Dans ce jeu simplifié, vous pourrez miser une certaine somme et gagner ou perdre de l'argent (telle est la fortune, au casino!). Quand vous n'avez plus d'argent, vous avez perdu.

### Notre règle du jeu

Bon, la roulette, c'est très sympathique comme jeu, mais un peu trop compliqué pour un exercice de première année. Alors, on va simplifier les règles et je vous présente tout de suite ce que l'on obtient :

- ▷ Le joueur mise sur un numéro compris entre 0 et 49 (50 numéros en tout). En choisissant son numéro, il y dépose la somme qu'il souhaite miser.
- ▷ La roulette est constituée de 50 cases allant naturellement de 0 à 49. Les numéros pairs sont de couleur noire, les numéros impairs sont de couleur rouge. Le croupier lance la roulette, lâche la bille et quand la roulette s'arrête, relève le numéro de la case dans laquelle la bille s'est arrêtée. Dans notre programme, nous ne reprendrons pas tous ces détails « matériels » mais ces explications sont aussi à l'intention de ceux qui ont eu la chance d'éviter les salles de casino jusqu'ici. Le numéro sur lequel s'est arrêtée la bille est, naturellement, le numéro gagnant.
- ▷ Si le numéro gagnant est celui sur lequel le joueur a misé (probabilité de 1/50, plutôt faible), le croupier lui remet 3 fois la somme mise.
- ▷ Sinon, le croupier regarde si le numéro misé par le joueur est de la même couleur que le numéro gagnant (s'ils sont tous les deux pairs ou tous les deux impairs). Si c'est le cas, le croupier lui remet 50% de la somme mise. Si ce n'est pas le cas, le joueur perd sa mise.

Dans les deux scénarios gagnants vus ci-dessus (le numéro misé et le numéro gagnant sont identiques ou ont la même couleur), le croupier remet au joueur la somme initialement mise avant d'y ajouter ses gains. Cela veut dire que, dans ces deux scénarios, le joueur récupère de l'argent. Il n'y a que dans le troisième cas qu'il perd la somme mise.

Comme vous pouvez le constater, on ne vous fait pas de proposition pour la représentation des données. À vous de jouer !

### 13 Mots croisés

Voici une grille de mots croisés. (on ne s'intéresse pas ici aux définitions). Écrire une classe Grille offrant les méthodes suivantes :

- ▷ placer une lettre à un endroit de la grille (une case non noire bien sûr) ;
- ▷ donner le nombre de cases noires sur la grille ;
- ▷ donner le nombre total de mots (plus d'une lettre) de la grille (donc y compris ceux que le joueur n'a pas encore complétés) ;
- ▷ donner le nombre de mots déjà complétés par le joueur.

Exemple : dans la grille ci-contre, le nombre de cases noires est 14, le nombre total de mots de la grille est 37 (19 horizontaux et 18 verticaux) et le nombre de mots déjà complétés par le joueur est 6.

		A							
		L							
L	O	G	I	Q	U	E			
		O							
		R							
E	S	I		O		H			
		T	A	B	L	E	A	U	
		H		J		B			
		M		E					
		E		T					

### 14 Puissance 4

Le jeu de puissance 4 se déroule dans un tableau vertical comportant 6 rangées et 7 colonnes dans lequel deux joueurs introduisent tour à tour des jetons (rouges pour l'un, jaunes pour l'autre). Avec l'aide de la gravité, les jetons tombent toujours le plus bas possible dans les colonnes où on les place. Le jeu s'achève lorsqu'un des joueurs a réussi à aligner 4 de ses jetons horizontalement, verticalement ou en oblique, ou lorsque les deux joueurs ont disposé chacun leur 21 jetons sans réaliser d'alignement (match nul).



N.B. : sur ce dessin noir et blanc, les jetons rouges apparaissent en noir, les jetons jaunes en gris et les cases blanches désignent l'absence de jetons. Cet exemple montre une situation du jeu où le joueur « jaune » est gagnant. En introduisant un jeton dans la 4<sup>e</sup> colonne, il a réalisé un alignement de 4 jetons en oblique.

On demande d'implémenter une classe Puissance4 qui permette de contrôler l'état des différentes phases du jeu. Déterminez les attributs de cette classe et décrivez-les brièvement de manière à justifier votre choix. Dotez ensuite la classe des méthodes permettant de :

- ▷ savoir si la grille est pleine
- ▷ mettre la grille à jour lorsque le joueur n (1 ou 2) joue dans la colonne j (entre 1 et 7). Cette méthode renverra la valeur booléenne faux si la colonne en question est déjà pleine
- ▷ vérifier si le joueur qui vient de jouer dans la colonne j a gagné la partie

N.B. : pour la structure qui contiendra le contenu du tableau de jetons, on adoptera la convention suivante : 0 pour l'absence de jeton, 1 représentera un jeton du 1<sup>er</sup> joueur, et 2 un jeton du 2<sup>e</sup> joueur (on peut donc faire abstraction de la couleur du jeton dans ce problème).

## 15 Mastermind

Revenons sur le jeu Mastermind déjà vu en DEV1. Dans ce jeu, un joueur A doit trouver une combinaison de  $k$  pions de couleur, choisie et tenue secrète par un autre joueur B. Cette combinaison peut contenir éventuellement des pions de même couleur. À chaque proposition du joueur A, le joueur B indique le nombre de pions de la proposition qui sont corrects et bien placés et le nombre de pions corrects mais mal placés.

### Exemple

Utilisons des lettres pour représenter les couleurs.

Combinaison secrète					Proposition du joueur				
R	R	V	B	J	R	V	B	B	V

Il sera indiqué au joueur qu'il a :

- ▷ 2 pions bien placés : le R en 1<sup>re</sup> position et le second B en 4<sup>e</sup> position ;
- ▷ 1 pion mal placé : un des deux V (ils ne peuvent compter tous les deux).

Supposons une énumération `Couleur` avec toutes les couleurs possibles de pion.

- a) Écrire une classe « `Combinaison` » pour représenter une combinaison de  $k$  pions. Elle possède une méthode pour générer une combinaison aléatoire (que vous ne devez pas écrire) et une méthode pour comparer une combinaison à la combinaison secrète (que vous devez écrire)
- b) Écrire ensuite une classe « `MasterMind` » qui représente le jeu et permet d'y jouer. La taille de la combinaison et le nombre d'essais permis seront des paramètres du constructeur.

# Annexe A

## Aide mémoire

Cet aide-mémoire peut vous accompagner lors d'une interrogation ou d'un examen. Il vous est permis d'utiliser ces méthodes sans les développer. Par contre, si vous sentez le besoin d'utiliser une méthode qui n'apparaît pas ici, il faudra en écrire explicitement le contenu.

### Manipuler les nombres

**hasard(*n* : entier) → entier**

Donne un entier entre 1 et *n*.

### Manipuler les chaînes

Remarque : lorsqu'on indique **caractère**, on signifie une chaîne de longueur 1.

**chaîne[*i*]**

Désigne le *i*<sup>e</sup> caractère de la chaîne (en commençant à 1).

Ex : `texte[2] ← "a"` ou **afficher** `texte[1]`

**chaîne1 + chaîne2**

Produit une chaîne qui est la concaténation des deux chaînes.

**long(chaîne : chaîne) → entier**

Donne la longueur de la chaîne (nb de caractères).

**estLettre(car : caractère) → booléen**

Cette fonction indique si un caractère est une lettre. Par exemple elle retourne vrai pour "a", "e", "G", "K", mais faux pour "4", "\$", "@"...

**estMinuscule(car : caractère) → booléen**

Permet de savoir si le caractère est une lettre minuscule.

**estMajuscule(car : caractère) → booléen**

Permet de savoir si le caractère est une lettre majuscule.

**estChiffre(car : caractère) → booléen**

Permet de savoir si un caractère est un chiffre. Elle retourne vrai uniquement pour les dix caractères "0", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8" et "9" et faux dans tous les autres cas.

**majuscule(texte : chaîne) → chaîne**

Retourne une chaîne où toutes les lettres du texte ont été converties en majuscules.

**minuscule(texte : chaîne) → chaîne**

Retourne une chaîne où toutes les lettres du texte ont été converties en minuscules.

**numLettre(car : caractère) → entier**

Retourne toujours un entier entre 1 et 26. Par exemple `numLettre("E")` donnera 5, ainsi que `numLettre("e")`. Cette fonction traite donc de la même manière les majuscules et les minuscules. `numLettre` retournera aussi 5 pour les caractères "é", "è", "ê", "ë...". Attention, il est interdit d'utiliser cette fonction si le caractère n'est pas une lettre!

**lettreMaj(n : entier) → caractère**

Retourne la forme majuscule de la n<sup>e</sup> lettre de l'alphabet (où *n* sera obligatoirement compris entre 1 et 26). Par exemple, `lettreMaj(13)` retourne "M".

**lettreMin(n : entier) → caractère**

Idem pour les minuscules.

**chaîne(n : réel) → chaîne**

Transforme un nombre en chaîne. Ex : `chaîne(42)` retourne la chaîne "42" et `chaîne(3,14)` donnera "3,14".

**nombre(ch : chaîne) → réel**

Transforme une chaîne contenant des caractères numériques en nombre. Ainsi, `nombre("3,14")` retournera 3,14. C'est une erreur de l'utiliser avec une chaîne qui ne représente pas un nombre.

**sousChaîne(ch : chaîne, pos : entier, long : entier) → chaîne**

Permet d'extraire une portion d'une certaine longueur d'une chaîne donnée, et ceci à partir d'une position donnée.

**position(ch : chaîne, sous-chaîne : chaîne) → entier**

Permet de savoir si une sous-chaîne donnée est présente dans une chaîne donnée. Elle permet d'éviter d'écrire le code correspondant à une recherche. La valeur de l'entier renvoyé est la position où commence la sous-chaîne recherchée. Par exemple, `position("algorithmique", "mi")` retournera 9. Si la sous-chaîne ne s'y trouve pas, la fonction retourne 0.

## La liste

```

classe Liste de T                                     // T est un type quelconque
public:
    constructeur Liste de T()                           // construit une liste vide
    méthode get(pos : entier) → T                       // donne un élément en position pos
    méthode set(pos : entier, valeur : T)               // modifie un élément en position pos
    méthode taille() → entier                           // donne le nombre actuel d'éléments
    méthode ajouter(valeur : T)                         // ajoute un élément en fin de liste
    méthode insérer(pos : entier, valeur : T)           // insère un élément en position pos
    méthode supprimer()                                 // supprime le dernier élément
    méthode supprimerPos(pos : entier)                  // supprime l'élément en position pos
    méthode supprimer(valeur : T) → booléen             // supprime l'élément de valeur donnée
    méthode vider()                                     // vide la liste
    méthode estVide() → booléen                         // la liste est-elle vide ?
    méthode existe(valeur ↓ : T, pos ↑ : entier) → booléen // recherche un élément
fin classe

```