

Introduction à la POO & à Java

Master Sciences du Langages — Université Paris Cité

Introduction à la programmation orientée objet en Java

Guillaume Wisniewski

28 mars 2024

No copyright

© This book is released into the public domain using the CC0 code. To the extent possible under law, I waive all copyright and related or neighbouring rights to this work.

To view a copy of the CC0 code, visit :

<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>

Colophon

This document was typeset with the help of KOMA-Script and L^AT_EX using the kaobook class.

Ce document reprend les principales notions abordées dans le cours « Introduction à la POO en Java » du cours de L3 LI d'Université Paris Cité.

Il s'agit d'un *work in progress* : le contenu comporte très certainement de nombreuses erreurs et imprécisions et sera amené à changer fréquemment au cours du semestre. N'hésitez pas à me faire part de toute remarque, commentaire ou correction.

Version du 28 mars 2024

Table des matières

Table des matières	iv
1 Programmation impérative en java	1
1.1 Compilation et exécution d'un programme java	1
1.2 Anatomie d'un programme java	3
1.3 Types et variables	4
1.4 Instruction de contrôle de flots	8
1.5 Utilisation des objets	16
2 Java pour la manipulation de texte	19
2.1 Manipulation de fichier	19
2.2 Structures de données	22
2.2.1 Les listes	23
2.2.2 Les ensembles	25
2.2.3 Les dictionnaires	27
2.2.4 Opérations sur les collections	30
2.2.5 Créations de collections à partir de valeurs	30
2.3 Java & Unicode	32
2.3.1 Principe de représentation des chaînes de caractères	32
2.3.2 Caractéristiques d'UNICODE	35
2.3.3 Représentation des chaînes de caractères en java	39
2.4 Expressions régulières	41
2.4.1 Définition(s)	41
2.4.2 Utilisation des expressions régulières en java	42
3 Programmation orientée objet	45
3.1 Pourquoi la programmation orientée objet?	45
3.2 Encapsulation	47
3.3 Définition d'une classe en java	48
3.4 Mode d'accès et encapsulation	56
3.5 Interfaces	57
3.6 Héritage	64
4 Java avancé	67
4.1 Utilisation de bibliothèques	67
APPENDIX	68
A Correction des exercices	69
A.1 Correction de l'exercice 1.4.1	69
A.2 Correction de l'exercice 1.4.2	72
A.3 Correction de l'exercice 2.2.1	72
A.4 Correction de l'exercice 2.2.2	72
A.5 Correction de l'exercice 2.2.3	73
A.6 Correction de l'exercice 2.2.4	74
A.7 Correction de l'exercice 2.2.5	74

Table des figures

1.1	Exemple d'erreur de compilation : la ligne 4 du fichier <code>FirstProgram.java</code> ne se termine pas par un point-virgule.	2
1.2	Exemple d'une erreur de compilation dans Eclipse. L'erreur est détecté directement lors de la saisie et l'interface l'indique à différents endroits.	2
1.3	Erreur obtenue lors de l'exécution d'une classe ne contenant pas de point d'entrée.	3
1.4	Exemple d'une exception levée à la suite d'une division par 0.	3
1.5	Représentation schématique des éléments stockés dans un tableau de <code>String</code>	7
1.6	Flot d'exécution d'une boucle for : le bloc d'instructions est répété tant que la condition spécifiée à la deuxième position de la définition de la boucle est vérifiée ; l'instruction présente à la 3 ^e position est exécuté après chaque exécution de bloc.	10
1.7	Exemple de pyramide à réaliser dans l'exercice 1.4.1	11
1.8	Représentation schématique de l'impact des instructions break et continue sur le déroulement d'une boucle.	12
1.9	Déroulement du flot d'instructions lors d'un appel à une fonction.	14
1.10	Factorisation du code. Source : https://xkcd.com/247/	15
1.11	La notion d'abstraction en informatique. source : https://xkcd.com/676/	15
2.1	Ajout d'un fichier dans un projet eclipse : il faut glisser-déplacer le fichier à la racine du projet (1) ; il apparait alors à la suite des fichiers déjà présent (2).	22
2.2	Représentation schématique d'une liste : les 4 éléments sont associés à un indice (compris entre 0 et 3) et il est possible, connaissant un indice d'accéder directement à l'élément correspondant.	23
2.3	La table ASCII (en totalité). source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:ASCII-Table.svg	33
2.4	Texte affiché avec le mauvais encodage. source : http://sdz.tdct.org/sdz/asser-du-latini-a-l-unicode.html	34
2.5	La page Wikipédia sur les Naxi (https://fr.wikipedia.org/wiki/Naxi) affiché avec une page de code différente de celle avec laquelle le texte a été écrit.	35
2.6	Un exemple des propriétés UNICODE associée au caractère « œ ».	36
2.7	Glyphes des différentes lettres représentant un A en UNICODE. Les lettres sont données dans l'ordre du texte. (source : http://www.fileformat.info/info/unicode/char/search.htm)	37
2.8	Points de code du bloc <i>Combining Diacritical Marks</i> . Extrait du standard UNICODE	37
3.1	Illustration du principe de l'encapsulation : l'interface et implémentation sont séparées et seule l'interface est visible.	47
3.2	Erreur générée lorsqu'une des méthodes de l'interface n'est pas définie (ici la méthode <code>corrected</code>).	59
3.3	Attributs et méthodes pour les différents types d'alertes	64
A.1	Demi-pyramide à réaliser dans la première étape de l'exercice 1.4.1.	69
A.2	Demi-pyramide à réaliser dans la seconde étape de l'exercice 1.4.1.	70

Liste des tableaux

1.1	Liste des principaux types primitifs utilisés en java.	6
2.1	Extrait de la table UNICODE. Suivant les conventions, le code de chaque lettre est donné en hexadécimal et précédé du préfixe U+.	34
2.2	Exemple de transformations mises en jeu lors de la normalisation vers la forme normale canonique.	38

Programmation impérative en java

1

1.1 Compilation et exécution d'un programme java

Le listing 1 donne un exemple du code source d'un programme java. Ce code source décrit une *classe* qui correspond à une *unité de compilation*, c'est-à-dire à l'ensemble des instructions nécessaires à l'exécution d'un programme. Nous verrons, au chapitre 3, que la notion de classe est ambiguë en java et qu'il existe d'autres type de classes.

Le java est un langage *compilé* : le code source doit être « traduit » en un code objet directement exécutable par un ordinateur. Les premiers compilateurs généraient du code en langage machine (une suite de bits) qui était directement interprété par le processeur de l'ordinateur. Le compilateur java produit du *byte code*, une représentation binaire intermédiaire. Cette représentation doit être exécutée par une *machine virtuelle* qui fait abstraction du système d'exploitation ou de la machine : un même programme java peut être exécuté sur un ordinateur, un téléphone voire une machine à laver.

Lors de la compilation, le compilateur réalise une analyse globale (la totalité du code source est accessible et peut être analysée) ce qui lui permet de détecter plus facilement et plus rapidement d'éventuelles erreurs : contrairement aux langages interprétés (comme le python) dans lesquels les instructions sont exécutées au fur et à mesure que celle-ci sont lues dans le fichier source et, par conséquent, dans lesquels les erreurs de syntaxe ne peuvent être détectées qu'au moment où une ligne est exécutée, un programme java ne pourra être compilé (et donc exécuté) que s'il ne contient aucune erreur de syntaxe. La compilation permet également d'optimiser le code en cherchant à améliorer la vitesse d'exécution de celui-ci ou son occupation mémoire

Pour exécuter le programme du listing 1, il est nécessaire de réaliser deux étapes :

— *compiler* le code source à l'aide de l'instruction :

```
> javac FirstProgram.java
```

La commande `javac` (pour Java Compiler) permet d'appeler le compilateur Java qui va transformer le code source (contenu

```
1 public class FirstProgram {
2
3     public static void main(String[] s) {
4         System.out.println("Bonjour les amis.");
5     }
6
7 }
```

Listing 1 – Hello Word en java.

dans un simple fichier texte avec l'extension `.java`) en fichier contenant le byte code portant l'extension `.class` qui pourra être exécuté par la machine virtuelle. La compilation échoue si la syntaxe java n'est pas respectée : comme illustré à la figure 1.1 le compilateur renvoie une erreur dès qu'il détecte une erreur de syntaxe.

— appeler la machine virtuelle à l'aide de la commande :

```
> java FirstProgram
```

La commande `java` permet d'appeler la JVM (Java Virtual Machine). Il prend en paramètre le nom d'une classe (contenue dans un fichier `.class`) et exécute celle-ci.

En pratique, les programmes java sont composés de plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de classes et compiler manuellement des fichiers comme dans les exemples précédents est impossible : le développement se fait généralement dans un EDI (Environnement de Développement Intégré), comme Eclipse, qui prend en charge la compilation des différents fichiers nécessaires. La figure 1.2 montre le résultat d'une erreur de compilation dans Eclipse.

```
> javac FirstProgram.java
FirstProgram.java:4: error: ';' expected
    System.out.println("Bonjour les amis.")
                                ^
1 error
```

FIGURE 1.1 – Exemple d'erreur de compilation : la ligne 4 du fichier `FirstProgram.java` ne se termine pas par un point-virgule.

La distinction entre les étapes de compilation et d'exécution n'est pas toujours visible : dans des environnements de développement intégré comme Eclipse, le code java est compilé à la volée (c'est-à-dire au fur et à mesure qu'il est saisi) et il peut être exécuté directement sans avoir besoin d'appeler le compilateur explicitement.

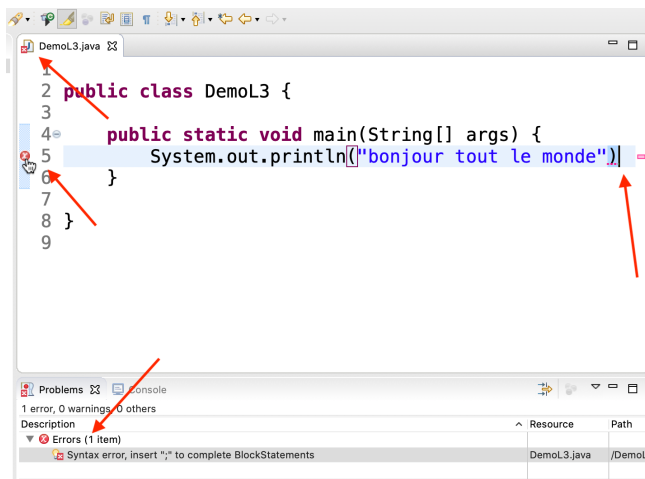


FIGURE 1.2 – Exemple d'une erreur de compilation dans Eclipse. L'erreur est détectée directement lors de la saisie et l'interface l'indique à différents endroits.

Lors de l'exécution d'un programme java, la machine virtuelle, va chercher le *point d'entrée* du programme et exécuté la première ligne de celui-ci. En java, le point d'entrée est défini par la fonction `main`¹. Si la machine virtuelle ne parvient pas à identifier le point d'entrée du programme (par exemple, parce que le nom de la fonction n'est pas correctement orthographié ou que la définition de celle-ci ne commence

1 : Nous verrons à la section 1.4 comment définir une fonction.

pas par les mots clés **public static void**), elle génère une erreur, comme illustré à la figure 1.3.

```
> java FirstProgram
Erreur : la méthode principale est introuvable dans la
classe FirstProgram, définissez la méthode principale comme
suit :
    public static void main(String[] args)
ou une classe d'applications JavaFX doit étendre
    javafx.application.Application
```

FIGURE 1.3 – Erreur obtenue lors de l'exécution d'une classe ne contenant pas de point d'entrée.

Exception La compilation permet de détecter plusieurs types d'erreur : erreur de syntaxe, code non exécutable, variable non utilisée, ... Cependant, certaines erreurs n'apparaissent qu'à l'exécution du programme. C'est par exemple, lors de la division par une variable *b*, une erreur doit être détectée lorsque *b* est nulle. Cette erreur ne peut être détectée que lors de l'exécution, lorsque la valeur de *b* est connue.

En java, les erreurs détectées lors de l'exécution donnent lieu à des exceptions, comme celle qui est décrite à la figure 1.4. Une exception comporte trois informations :

- le nom de l'exception (ici : `ArithmeticException`);
- un éventuel message d'erreur qui complète la description de l'erreur (il s'agit dans ce cas d'une division par 0);
- une *trace d'exécution* qui permet à la fois d'identifier à quelle ligne l'erreur c'est produite (ici la ligne 5) mais également les appels de fonctions successifs qui expliquent pourquoi la ligne ayant causé l'erreur a été exécutée : ici l'erreur se situe à la ligne 5 de la fonction `divisionParZero` qui a été appelée à la ligne 44 de la fonction `main`.

```
Exception in thread "main" java.lang.ArithmeticException:
/ by zero
    at Prog.divisionParZero(Prog.java:5)
    at Prog.main(Prog.java:44)
```

FIGURE 1.4 – Exemple d'une exception levée à la suite d'une division par 0.

1.2 Anatomie d'un programme java

Le code du listing 1 permet d'illustrer plusieurs aspects de la syntaxe java : un programme java est composé d'une ou de plusieurs classes, chaque classe étant définie dans un fichier qui lui est propre. Les classes sont des *unités de compilation*² qui regroupent soit des fonctions d'un même « domaine » (p. ex. la classe `Math` regroupe les principales fonctions mathématiques usuelles) soit les différentes « parties » d'un programme.

Une classe est composée de deux éléments :

- un nom précédé des deux mots clés **public class**;
- d'un bloc de code, identifié par des accolades (`{` marque le début du bloc et `}` sa fin).

2 : Nous introduirons, au chapitre 3, un autre type de classes.

Le compilateur java impose que le code source d'une classe soit stocké dans un fichier portant le même nom que la classe : il est nécessaire que le code du listing 1 soit contenu dans un fichier `FirstProgram.java`. Le compilateur détectera une erreur de syntaxe si cela n'est pas le cas.

Une classe est une unité de compilation qui regroupe plusieurs fonctions nécessaires à l'exécution du programme. En attendant d'introduire la syntaxe permettant de définir des fonctions (à la section 8), l'ensemble du code sera toujours contenu dans la fonction `main` : en java, une classe ne peut pas contenir directement de code, celui-ci doit toujours être contenu dans une fonction qui est elle-même toujours définie à l'intérieur d'une classe (c.-à-d. du bloc de code correspondant à celle-ci).

Par convention³ les noms de classe doivent toujours être écrits en *Camel Case* : les différents mots composant le nom sont liés sans espace ni ponctuation et en mettant en capitale la première lettre de chaque mot. Il s'agit d'une convention : le compilateur compilera le code d'une classe commençant par une minuscule ou dont les mots sont séparés par des tirets bas (*underscore*), mais une telle pratique rendra la compréhension du code plus difficile pour les autres programmeurs.

De manière similaire, par convention, les blocs suivent toujours la même mise en forme : l'accolade ouvrante se met à la fin de la ligne où commence le bloc concerné et l'accolade fermante sur une ligne à part, indentée au niveau de l'instruction qui a entraîné l'ouverture du bloc. L'ensemble du code contenu dans le bloc doit être indenté⁴.

Un bloc de code est composée d'une ou de plusieurs instructions séparées par des points-virgules (;). Par convention, chaque instruction correspond à une ligne, mais il reste nécessaire de placer un point-virgule à la fin de chaque ligne.

Il est également possible d'inclure des commentaires, soit en faisant précéder une ligne de deux barres obliques (*slash*) `//`, soit en insérant la partie à commenter entre les symboles `/*` (début de commentaire) et `/*` (fin de commentaire). Cette dernière syntaxe permet de réaliser des commentaires sur plusieurs lignes.

1.3 Types et variables

Dans un programme informatique, les variables permettent de nommer des valeurs : lors de l'exécution du programme, la machine virtuelle remplacera chaque apparition du nom d'une variable par la valeur que celle-ci contient. Ainsi lors de l'exécution du programme du listing 2, l'instruction de la ligne 7 va afficher le contenu de la variable `temperature`⁵; lors de l'exécution de la ligne 10, la machine virtuelle va commencer par remplacer la variable, effectuer la soustraction et afficher le résultat. Au final, la sortie du programme sera :

```
Température du soleil (K)
5778
Température du soleil (deg. C)
5504.85
```

3 : Les conventions sont des règles conçues pour faciliter la lecture et la compréhension du code en permettant d'identifier le plus d'éléments possibles « du premier coup d'œil ». Si leur respect n'est pas obligatoire (un programme ne respectant pas les conventions fonctionnera aussi bien qu'un programme les respectant), l'expérience montre que respecter les conventions facilite grandement l'écriture, la maintenance et aident à éviter certaines erreurs. Elles permettent également d'identifier les programmeurs expérimentés.

4 : L'indentation consiste en l'ajout de tabulations ou d'espaces visant à faciliter l'identification des blocs de code

5 : Tout se passe comme si la ligne contenait en fait l'instruction `System.out.println("5778");`

```

1 public class SimpleVariable {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         // température à la surface du soleil en kelvin
5         int temperature = 5778;
6         System.out.println("Température du soleil (K)");
7         System.out.println(temperature); //
8         System.out.println("Température du soleil (deg. C)");
9         // conversion : degree C = K - 273.15
10        System.out.println(temperature - 273.15); //
11    }
12
13 }

```

Listing 2 – Exemple de programme utilisant des variables.

Le listing 2 montre les deux principales conventions généralement appliquées pour nommer et manipuler des variables en java : les noms de variables sont systématiquement écrits en *camel case* et commencent par une minuscule; l'opérateur d'affectation (=), comme tous les opérateurs binaires, est précédé et suivi d'une espace.

Les variables sont caractérisées par leur type qui définit la nature des valeurs représentées ainsi que les opérations qu'il est possible de réaliser avec celle-ci. Par exemple, en java, une variable de type entier (**int**) représente un nombre entier compris entre -2^{31} et $2^{31} - 1$; il est possible d'additionner deux entiers entre eux à l'aide de l'instruction :

```

1 int a = 2;
2 int b = 4;
3 int c = a + b;

```

La variable c représentera la valeur 6. Il est également possible de réaliser la division entière entre deux entiers :

```

1 System.out.println(a / b);

```

Cette instruction affichera 0 (et non 0, 5 comme on pourrait s'y attendre), l'opérateur de division / étant défini comme la division entière lorsqu'il est appliqué à des entiers. De la même manière, il est possible d'« additionner » deux chaînes de caractères entre elles ou une chaîne de caractères et un entier (dans ces deux cas, l'addition correspond à une concaténation), comme dans l'exemple du listing 3, mais il n'est possible de diviser deux chaînes de caractères ou d'additionner un entier et une chaîne de caractères : ces deux opérations ne sont pas définies pour les types concernés. Lors de la compilation, les opérations entre types non autorisées sont détectées et entraîne une erreur de compilation. Par exemple, la compilation du programme du listing 3 génère l'erreur suivante :

```

> javac StringOperation.java
StringOperation.java:10: error: bad operand types for binary
operator '/'
    String d = a / b;
                ^
first type:  String

```

```

1 public class StringOperation {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         String a = "Bonjour";
5         String b = "les amis";
6         int c = 1;
7         System.out.println(a + " " + b);
8         System.out.println(a + c);
9
10        // Opérations interdites pour le type String
11        String d = a / b;
12        System.out.println(1 + c);
13    }
14
15 }

```

Listing 3 – Programme réalisant une opération non définie pour le type `String`. La compilation de ce programme donne une erreur.

type	valeurs représentées	commentaire
int	$[-2^{31}, 2^{31} - 1]$	nombres entiers
boolean	{ true , false }	booléen
double	sous-ensemble de $\mathbb{R}$	représentation approchée des nombres réels

TABLE 1.1 – Liste des principaux types primitifs utilisés en java.

second type: `String`
1 error

On distingue en java deux sortes de types :

les types primitifs qui correspondent à des types pouvant être manipulés directement par un microprocesseur. Les types primitifs sont stockés « tel que » en mémoire sans aucune information supplémentaire. La table 1.1 donne la liste des principaux types primitifs existant en java.⁶

les types complexes qui correspondent à des *objets* pouvant être définis soit dans la bibliothèque standard java, soit directement par le programmeur ou la programmeuse. Ces types complexes peuvent représenter n'importe quelle entité. L'utilisation des types complexes sera détaillée à la section 1.5.

En java les variables sont typées de manière explicite et statique : il est nécessaire de déclarer, à la création d'une variable, le type de celle-ci et ce type ne pourra plus changer. Ainsi, la définition d'une variable de type primitif aura toujours la forme suivante :

`int a = 0;`

type nom de la variable valeur initiale

Les variables de type complexe devront être définies de la manière suivante :

`File a = new File("mon_fichier.txt");`

type nom de la variable appel au constructeur

⁶ : Seuls les types primitifs que l'on emploie couramment sont présentés. Le langage java définit d'autres types offrant un contrôle fin sur l'occupation mémoire et la précision (l'ensemble des valeurs qui peut être représenté). Les caractéristiques et l'utilisation de ces types dépassent le cadre de ce document.

Dans cet exemple, le type complexe `File`, défini dans la bibliothèque standard java, permet de représenter et de manipuler un fichier ou un répertoire (p. ex. en vérifiant si le fichier existe, en créant des répertoires, ...). La création d'un type complexe se fait au moyen d'un *constructeur* : c'est une fonction particulière dont le nom est absolument identique au nom du type (casse comprise) et qui peut prendre en paramètre d'éventuels paramètres nécessaires à l'initialisation de l'objet. Dans l'exemple précédent, les paramètres du constructeur permettent de spécifier le chemin du fichier.

L'appel au constructeur permet de créer explicitement un nouvel objet en allouant et en initialisant la mémoire nécessaire à celui-ci. Il est également possible d'utiliser un objet créé lors d'un appel à une fonction. Ainsi, si une fonction `getParametersFile()` retournant un objet de type `File` est définie dans le programme, il est possible d'initialiser une référence `paramFile` sans appeler le constructeur :

```
1 File paramFile = getParametersFile();
```

C'est à la fonction `getParametersFile` d'appeler le constructeur et il n'y a pas besoin de créer une instance avant d'appeler la fonction. De manière plus précise, dans l'extrait de programme suivant :

```
1 String maString = "";
2 maString = generateString();
```

deux instances de `String` sont créées : une dans le programme « courant » et une autre dans la fonction `generateString`. Si le programme fonctionne parfaitement, cette « double initialisation » montre que le programmeur ou la programmeuse ne comprend pas parfaitement comment fonctionne le langage.

Il existe un type particulier, le type `String` qui permet de représenter des chaînes de caractères : bien que ce soit un type complexe, il est possible d'initialiser une chaîne de caractères en utilisant la syntaxe des types primitifs :

```
1 String s = "Bonjour les amis";
```

Cette initialisation est, en première approximation, équivalente à :

```
1 String s = new String("Bonjour les amis");
```

Les tableaux Le langage java définit un type complexe particulier, les tableaux, qui permet de stocker un nombre donné d'éléments du même type. Les tableaux sont des collections homogènes non dynamiques : ils permettent de stocker une séquence finie d'éléments de même type auquel on peut accéder par leur position ou *indice*. Comme illustré à la figure 1.5, un tableau stocke n éléments, chaque élément étant associé à un indice compris entre 0 et $n - 1$. L'accès à un indice supérieur ou égal à n lèvera une exception `IndexOutOfBoundsException`.

indice :	0	1	2	3
valeur :	"Oana"	"Hanaé"	"Ali"	"Jiddu"

FIGURE 1.5 – Représentation schématique des éléments stockés dans un tableau de `String`

Contrairement aux collections qui seront introduites à la section 2.2, les tableaux ne permettent de stocker qu'un nombre prédéfini d'éléments et il est compliqué d'ajouter ou de supprimer un élément.

En pratique, les tableaux ne sont quasiment plus utilisés⁷, sauf dans certaines fonctions de la bibliothèque standard qui retournent des tableaux. C'est notamment le cas de la méthode `split` particulièrement utile dans les programmes de TAL. Le listing 9 (page 17) donne un exemple utilisant cette méthode et illustre les deux utilisations principales d'un tableau :

- l'accès au *i*^e élément d'un tableau avec la syntaxe : `tab[i]` ;
- la possibilité de parcourir toutes les éléments d'un tableau à l'aide d'une boucle *foreach* (cf. §1.4).

7 : C'est pourquoi python, un langage plus récent, ne permet même plus la définition de tableaux mais uniquement de listes. C'est également la raison pour laquelle la présentation des tableaux est extrêmement succincte et ne mentionne pas les différentes manières de créer et d'initialiser un tableau.

1.4 Instruction de contrôle de flots

Lors de l'exécution d'un programme java, les instructions d'un programme java sont exécutées les unes à la suite des autres en commençant par la première ligne de la fonction principale. Il existe deux instructions permettant de contrôler la manière dont les lignes sont exécutées :

- une instruction de *branchement conditionnel* qui permet de n'exécuter une ligne ou un bloc de lignes que si une condition est respectée ;
- une instruction de *répétition* qui permet de répéter une ligne ou un bloc de lignes.

Branchement conditionnel Comme dans la plupart des langages, le branchement conditionnel s'exprime en java à l'aide du mot clé **if**. Sa syntaxe générale est :

```

1  if (condition1) {
2      // bloc d'instructions exécutés si la condition1
3      // est vraie
4  } else if (condition2) {
5      // bloc d'instructions exécutés si la condition2
6      // est vraie
7  } else {
8      // bloc d'instructions exécutés si toutes les
9      // conditions précédentes sont fausses
10 }
```

Une condition doit nécessairement être entre parenthèses. La présentation du bloc suit les conventions suivantes : l'accolade ouvrante est sur la ligne contenant la condition (précédé d'un espace) et l'accolade fermante soit seule sur une ligne avec l'indentation au même niveau que le **if** soit sur la même ligne que le **else** (ou **else if** en cas de conditions multiples).

La condition peut être n'importe quelle expression renvoyant un booléen. C'est en général soit une fonction renvoyant un booléen, soit le

résultat d'une comparaison : `==` pour le test d'égalité des types primitifs (nous verrons à la section 1.5 comment tester l'égalité de types complexes), `<`, `>`, `<=` ou `>=` pour les tests d'ordre.

Instructions de répétition Il existe deux manières de répéter un bloc. La première consiste à utiliser un compteur et à définir explicitement le nombre de fois où l'on veut répéter le bloc. Par exemple, le code suivant :

```

1  for (int i = 0; i < 10; i += 1) {
2      if (i == 0) {
3          System.out.println((i + 1) + "ère ligne")
4      } else {
5          System.out.println((i + 1) + "ème ligne")
6      }
7  }
```

permet de « compter » les lignes (en distinguant la première). La sortie de ce programme sera :

```

1ère ligne
2ème ligne
3ème ligne
4ème ligne
5ème ligne
6ème ligne
7ème ligne
8ème ligne
9ème ligne
10ème ligne
```

La syntaxe générale de la boucle **for** est la suivante :

```

1  for (initialisation; test; incrément) {
2      bloc
3  }
```

Les instructions du bloc seront répétées tant que la condition exprimée dans le test sera vraie; ce test porte généralement sur une variable qui est initialisée dans la partie *initialisation* exécutée avant la première exécution du bloc; à chaque itération (répétition), le code contenu dans *incrément* sera exécuté pour mettre à jour celle-ci. La figure 1.6 schématise le fonctionnement de la boucle. Ce schéma montre, notamment, que le bloc d'instructions peut ne pas être exécuté si la condition est fausse après l'exécution des instructions *initialisation*.

Il faut noter que tous les éléments mis en jeu dans la définition d'une boucle **for**, sont des instructions java « normales ». En particulier, le compteur généralement mise en jeu dans le test et l'incrément est une variable « normale » qui peut être utilisée et manipulée comme n'importe quelle variable. Ainsi, le fragment de code suivant⁸ :

⁸ : Ce type de code est cependant particulièrement difficile à lire et est, en général, source d'erreurs : il est en effet difficile d'assurer la cohérence entre les différentes parties du code modifiant la variable.

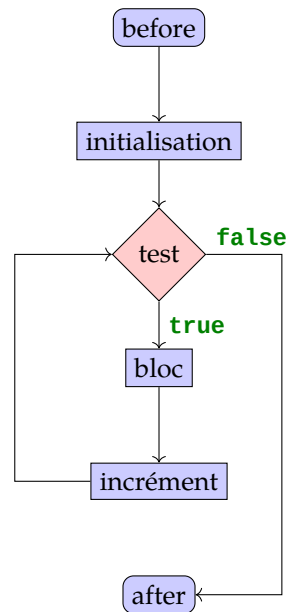


FIGURE 1.6 – Flot d'exécution d'une boucle **for** : le bloc d'instructions est répété tant que la condition spécifiée à la deuxième position de la définition de la boucle est vérifiée; l'instruction présente à la 3^e position est exécuté après chaque exécution de bloc.

```

1  for (int i = 0; i < 10; i += 1) {
2      System.out.println(i);
3      i += 1;
4  }
```

affichera :

```

0
2
4
6
8
```

Ce comportement est fondamentalement différent de la boucle équivalente en python;

```

for i in range(10):
    print(i)
```

Dans cette boucle, la liste des valeurs est créée indépendamment de l'itération et ne peut plus être modifiée au cours de celle-ci.

La seconde manière de répéter l'exécution d'une séquence d'instructions consiste à parcourir tous les éléments d'une collection, c'est-à-dire un ensemble d'éléments de même types (la notion de collection sera détaillée à la section 2.2). La syntaxe générale de ce type de boucle est :

```

1  for (Type el : collection) {
2      // bloc d'instructions à répéter
3  }
```

Ce boucle correspond aux boucles de type *foreach* présente dans de nombreux langage : la variable `el`, de type `Type`, va successivement prendre la valeur des différents éléments de la collection. Par exemple,


```

1 public class ExBreak {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         String line = "1,2,3,-4,4";
5
6         int sum = 0;
7         for (String el : line.split(",")) {
8             int val = Integer.parseInt(el);
9             if (val < 0) {
10                 break; //
11             }
12             sum += val;
13         }
14
15         System.out.println("somme = " + sum);
16     }
17 }
18

```

Listing 6 – Exemple d'utilisation de l'instruction `break`. Le programme affiche 6.

Interrompre les itérations Java définit deux mots-clés qui permettent de modifier le flot d'instructions d'une boucle : `break` et `continue`. La figure 1.8 représente l'impact de ceux-ci sur le déroulement d'une boucle. L'instruction `break` stoppe immédiatement la répétition du bloc même si la condition d'arrêt n'est pas vérifiée. Par exemple, dans le listing 6, la boucle `for` est interrompue soit quand tous les éléments de la chaîne ont été parcourus (condition d'arrêt « normale » d'une boucle de type *foreach*) soit dès qu'un nombre négatif est rencontré (condition exprimée ligne 10).

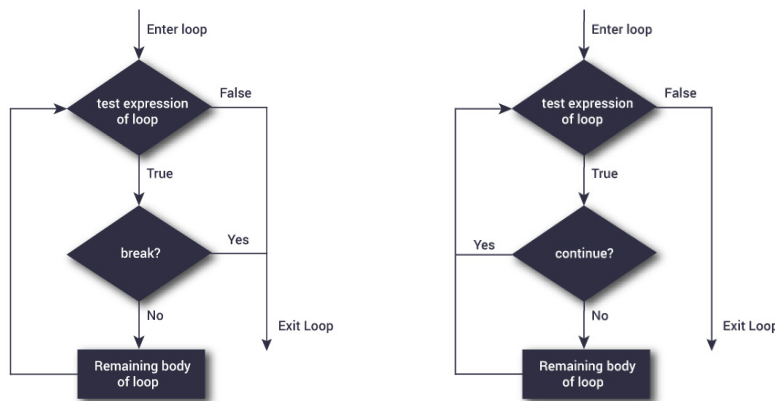


FIGURE 1.8 – Représentation schématique de l'impact des instructions `break` et `continue` sur le déroulement d'une boucle.

L'instruction `continue` permet d'interrompre une itération de la boucle et continuer avec l'itération suivante. Par exemple, le code du listing 7 calcule la somme des n premiers nombres paires.

Les instructions `break` et `continue` permettent généralement de simplifier le code. Les programmes des listings 6 et 7 peuvent ainsi être réalisés sans utiliser ces instructions. Voici par exemple une boucle équivalente à celle du listing 7 :

```

1     int sum = 0;
2     for (int i = 0; i <= n; i++) {

```

```

1 public class ExContinue {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         int n = 50;
5         int sum = 0;
6         for (int i = 0; i <= n; i++) {
7             if (i % 2 != 0) {
8                 continue
9             }
10            sum += i;
11        }
12
13        System.out.println("sum = " + sum);
14    }
15
16 }

```

Listing 7 – Programme calculant la somme de tous les nombres pairs compris entre 0 et n .

```

3     if (i % 2 == 0) {
4         sum += i;
5     }
6 }

```

L'instruction **continue** rend le programme plus lisible : si la boucle comportait un nombre d'instructions plus important, la taille du bloc **if** serait plus importante dans le second cas, alors qu'il continuerait à ne comporter qu'une seule instruction dans le second cas. Or, en général, un bloc d'instructions est d'autant plus facile à comprendre et à analyser que celui-ci est petit. Le **continue** sert à exprimer une *pré-condition* en « sélectionnant » les itérations pour lesquelles le bloc doit être exécuté.

Fonctions Le listing 8 montre comment il est possible de définir et d'appeler une fonction en java. En java, les fonctions sont nécessairement définies à l'intérieur d'une classe (comme la fonction `main` que nous avons utilisé jusqu'à présent). Une fonction est constituée :

- d'un entête définissant le nom de la fonction, son type de retour le nombre et le type de ses paramètres ;

```

public static int max ( int a, int b )
    ↑           ↑       ↑       ↑
    définition type de retour nom paramètres

```

- d'un corps comportant des instructions arbitraires (définition de variables, boucles, conditions, appel à d'autres fonctions, ...).

Il n'existe techniquement pas de fonction en java, mais uniquement des méthodes statiques⁹ comme le suggère l'utilisation du mot clé **static**. En pratique, si ce mot-clé n'est pas présent, l'appel à la fonction génèrera lors de la compilation l'erreur suivante :

```

MaxFunction.java:12: error: non-static method max(int,int)
cannot be referenced from a static context
    System.out.println("max(5, 3) = " + max(5, 3));

```

9 : La notion de méthode statique sera définie plus précisément au chapitre 3.

```

1 public class MaxFunction {
2
3     public static int max(int a, int b) {
4         if (a <= b) {
5             return b;
6         } else {
7             return a;
8         }
9     }
10
11     public static void main(String[] s) {
12         System.out.println("max(5, 3) = " + max(5, 3)); //
13     }
14
15 }

```

Listing 8 – Définition et appel d'une fonction en java.

1 error

Une fois définie, une fonction peut être appelée, comme à la ligne 12 du listing 8 en précisant son nom et, entre parenthèses, la valeur des éventuels paramètres. Si la fonction est définie dans une autre classe que la classe courante, le nom de la fonction devra être précédé du nom de la classe. Par exemple, pour appeler la fonction `min` définie dans la classe `Math`¹⁰, la syntaxe est :

```

1 System.out.println(Math.min(12.123, 12.456));

```

10 : La classe `Math` définit la plupart des fonctions mathématique courante : `log`, `sin`, `sqrt`, ...

Comme schématisé à la figure 1.9, les fonctions permettent de suspendre le flot d'instructions. Lorsqu'une ligne contient un appel à une fonction, le déroulement du programme est interrompu et l'exécution continue au début de la fonction. Lors de l'appel, les valeurs passées à la fonction sont affectées aux paramètres de celle-ci. Ceux-ci peuvent ensuite être considérés comme des variables *locales* qui seront détruites à la fin de la fonction (elles ne sont donc accessibles que dans le corps de la fonction). Les lignes composant la fonction sont ensuite exécutées les unes à la suite des autres jusqu'à une ligne comportant un **return**. Lors de l'exécution d'une ligne comportant ce mot-clé, l'exécution reprend au point d'appel : la ligne contenant l'appel est exécutée en faisant comme si la fonction était « remplacée » par la valeur retournée.

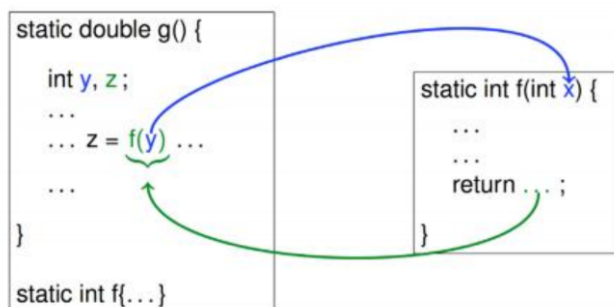


FIGURE 1.9 – Déroulement du flot d'instructions lors d'un appel à une fonction.

Définir des fonctions présente plusieurs intérêts. C'est un moyen de *factoriser* le code : plutôt que de répéter le même bloc d'instructions

à différents endroits, une même séquence d'instructions n'est jamais dupliquée et n'a besoin d'être écrite qu'une seule fois. Ainsi, grâce à la factorisation, il n'y a plus qu'un endroit à modifier pour faire évoluer le code ou corriger une éventuelle erreur, ce qui rend le code plus robuste (le risque d'oublier de modifier certaines instances du bloc du code est limité).

La définition de fonction est également un moyen de *structurer* le code : plutôt que d'avoir une longue suite d'instructions résolvant un problème, la résolution de celui-ci est divisée en une succession d'étapes pouvant être clairement identifiées, ce qui améliore la lisibilité du code : il est possible de comprendre les « grandes étapes » de la résolution du problème sans nécessairement savoir comment ces étapes sont réalisées. Un des grands intérêts des fonctions est de réaliser une *abstraction* du code : il est possible de comprendre ce que fait un bloc de code, sans savoir comment il le fait et donc d'utiliser une fonction comme une « boîte noire » sans savoir comment celle-ci fonctionne.

Pour se convaincre de l'utilité de cette abstraction, il suffit de chercher à comprendre ce que fait la boucle suivante :

```

1  r = n / 2;
2  while (abs( r - (n / r) ) > t) {
3      r = 0.5 * (r + (n / r));
4  }
5  System.out.println("r = " + r);

```

et de le comparer à :

```

1  public static double squareRootApproximation(double n) {
2      r = n / 2;
3      while (abs( r - (n / r) ) > t) {
4          r = 0.5 * (r + (n / r));
5      }
6      return r;
7  }

```

Le simple fait d'encapsuler le code dans une fonction et de nommer celle-ci rend l'interprétation du code triviale : il n'y a même pas besoin d'ajouter des commentaires !

De manière plus générale, lorsque l'on écrit `double res = 3 * 3 * 3;` ou même `double res = x * x * x;`, le programme est capable de calculer des cubes, mais notre *langage* n'a pas accès au *concept* de « élever un nombre à la puissance 3 ». La définition d'une fonction permet d'enrichir le langage en lui ajoutant, d'une certaine manière, de nouvelles instructions.

Exercice 1.4.2

Écrire une fonction qui retourne la proportion de voyelle dans une chaîne de caractères. Cette fonction renverra 0,375 pour la chaîne "lamantin".

Indication : il est possible de parcourir tous les caractères d'une chaîne `str` avec la boucle suivante :

FIGURE 1.10 – Factorisation du code.

Source : <https://xkcd.com/247/>

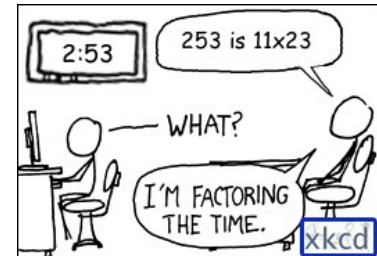


FIGURE 1.11 – La notion d'abstraction en informatique. source : <https://xkcd.com/676/>



```

1   for (char c : str.toCharArray()) {
2       // ...
3   }

```

(correction page 72)

1.5 Utilisation des objets

En plus des types primitifs, java permet également de manipuler des types complexes. Les variables de type complexe sont généralement appelées des *objets* ou des *instances de classe*. Les types complexes ou *classes* sont définis par un programmeur pour étendre le langage de base en lui ajoutant de nouvelles fonctionnalités. D'une certaine manière leur rôle est similaire à celui d'une fonction qui permet au programmeur d'enrichir un langage en lui ajoutant de nouvelles instructions : les types complexes enrichissent un langage en définissant de nouvelles représentations des données. Nous verrons plus en détails au chapitre 3 les motivations de la programmation orientée objet.

Il existe trois types de classes :

- les classes de la bibliothèque standard qui sont diffusées avec toutes les machines virtuelles ;
- les classes fournies dans une bibliothèque tierce, comme par exemple `coreNLP`¹¹, une bibliothèque de TAL pour java (analyseur morpho-syntaxique, analyseur syntaxique, reconnaissance d'entités nommées ou de coréférences). Celle-ci doit être installée (en téléchargeant le code correspondant et en indiquant à la machine virtuelle qu'elle doit utiliser celui-ci) avant que les classes et les méthodes qu'elle définit ne puissent être utilisées.
- les classes composant le projet : chaque programmeur peut définir les classes dont il a besoin pour *modéliser* son problème.

¹¹ : <https://stanfordnlp.github.io/CoreNLP/>

Il est illusoire de vouloir maîtriser l'ensemble des classes existantes ; mais il est important de savoir comment identifier les classes pertinentes pour résoudre un problème et découvrir les fonctionnalités offertes par celles-ci.

La manipulation d'un type complexe comporte toujours deux étapes :

- la création de l'objet, soit à l'aide du mot clé `new` qui permet d'obtenir une *référence* sur l'objet, soit en appelant une fonction retournant une référence (cf. §1.3) ;
- l'utilisation de celui-ci à l'aide de *méthodes* qui lui sont propres.

Utiliser (à l'aide d'une méthode) un objet sans que celui-ci n'ait été initialisé crée une erreur lors de l'exécution du programme. Contrairement aux erreurs de syntaxes qui sont détectées lors de la compilation, ce type d'erreur ne peut pas toujours être détectée avant que le code ne soit exécuté et résulte en une *exception* de type `NullPointerException`.

L'utilisation d'une méthode se fait au moyen de la syntaxe suivante :

```

1   laReference.laMethode(arguments);

```

```

1 public class SumString {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         String input = "ab=2,bC=1,Ab=3,cd=2";
5
6         input = input.toLowerCase();
7
8         int total = 0;
9         for (String part : input.split(",")) {
10             String name = part.split("=")[0];
11             if (name.equals("ab")) {
12                 total += Integer.parseInt(part.split("=")[1]);
13             }
14         }
15         System.out.println("total = " + total);
16     }
17 }

```

Listing 9 – Exemple d'utilisation d'un objet de type `String`. Le programme permet d'identifier tous les entiers associés à la chaîne "ab" (sans tenir compte de la casse) et de calculer la somme de ceux-ci.

Contrairement aux fonctions « habituelles » (cf. §8), une méthode ne peut être appelée que pour modifier ou interroger un objet. Elle est d'une certaine manière « attachée » à une référence et il est impossible d'« appeler » une méthode sans spécifier la référence à laquelle celle-ci s'applique. Ainsi dans le programme suivant :

```

1 String firstName = "Meera";
2 String lastName = "Nanda";
3
4 System.out.println(lastName.toUpperCase());

```

la méthode `toUpperCase` « s'applique » bien au nom de famille (la variable `lastName`) et à aucune autre chaîne de caractères.

Le listing 9 donne un exemple de programme qui utilise des objets et, en particulier, les méthodes de la classe `String` suivante :

- `toLowerCase()` : qui permet de créer une nouvelle chaîne de caractère correspondant à la version en minuscule de chaîne sur laquelle la méthode est appliquée. Appeler cette méthode permet de ne pas tenir compte de la casse lors de la comparaison¹²
- `split` : qui permet d'identifier les sous-parties de la chaîne de caractères (ici, les associations entre un nom et un entier, puis, à l'intérieur de chaque association, entre un nom et un entier) ;
- `equals` : qui permet de tester l'égalité de deux chaînes de caractères.

12 : On aurait également pu utiliser la méthode `equalsIgnoreCase`.

Une description plus précise de ces méthodes est faite dans la javadoc de la classe `String`.

Pour connaître les objets existants et les méthodes afférentes, il suffit en général d'entrer le nom de la classe dans un moteur de recherche pour tomber sur la *javadoc* de la classe. Celle-ci offre une documentation standardisée d'une classe. Elle comporte trois parties :

- une description générale des fonctionnalités de la classe ;
- la liste des méthodes avec une description succincte (en générale une phrase) de celle-ci ;

- une description détaillée des différentes méthodes.

La plupart des EDI permettent également d'accéder directement à la javadoc.

Égalité d'objets Il existe, en java, deux manières de tester l'égalité de deux objets o1 et o2 :

- `o1 == o2` va tester l'égalité des références et permet de savoir si les deux références représentent bien le même emplacement dans la mémoire de l'ordinateur;
- `o1.equals(o2)` permet de savoir si les deux objets ont des *contenus* considérés comme identiques, dans un sens qui est défini par le concepteur de chaque classe.

Dans la quasi totalité des cas, c'est le deuxième type de test qui est utile : de manière contre-intuitive, le programme suivant affichera uniquement contenus identiques :

```
1  String s1 = new String("Oluwakemi");
2  String s2 = new String("Oluwakemi");
3
4  if (s1 == s2) {
5      System.out.println("références identiques");
6  }
7
8  if (s1.equals(s2))
9      System.out.println("contenus identiques");
10 }
```


Java pour la manipulation de texte

2

Ce chapitre a pour objectif de donner un aperçu rapide des principales classes de la bibliothèque standard Java permettant de manipuler des données textuels. Nous verrons successivement :

- comment lire des données à partir d'un fichier ;
- les principales structures de données ;
- la manipulation des textes unicode.

La plupart des classes que nous verrons dans ce chapitre ne sont pas directement connues ni du compilateur ni de la machine virtuelle et doivent être *importées* avant de pouvoir être utilisées. Les directives d'importation doivent être situées au début du fichier, avant la déclaration de la classe (le **public class**), comme dans l'exemple suivant :

```
1 import java.util.HashMap;  
2  
3 public class MaClasse {  
4     // ..  
5 }
```

2.1 Manipulation de fichier

Deux classes de la bibliothèque standard Java¹ permettent d'accéder et de manipuler un fichier :

- la classe `Path` qui, comme son nom l'indique, représente un *chemin* c'est-à-dire, un objet qui permet de localiser un fichier dans le système de fichiers ;
- la classe `Files` qui contient plusieurs méthodes statiques permettant d'accéder (c.-à-d. de lire) et de manipuler (copier, supprimer, ...) ceux-ci.

Il faut ajouter à cela la classe `Paths`² qui permet, exclusivement, de créer des instances de la seconde à partir de la désignation d'un fichier sous forme d'une chaîne de caractères.

Lecture La lecture d'un fichier se fait en deux étapes : il faut commencer par créer une instance de `Path` désignant le fichier ; il est ensuite possible, à l'aide des fonctions de la classe `File` d'accéder au contenu de celui-ci. Dans l'exemple du listing 10, la première étape est réalisée à l'aide de la méthode statique `Paths.get` ; la lecture du contenu du fichier se fait à l'aide de la méthode `Files.readAllBytes`. Le contenu du fichier est converti en chaîne de caractères en appelant un constructeur de la classe `String`³.

Lors de leur exécution, toutes les méthodes manipulant des fichiers peuvent échouer par exemple lorsqu'elles tentent d'accéder à un fichier qui n'existe pas ou pour lequel l'utilisateur exécutant le programme n'a pas les droits. Les erreurs causées par un problème d'accès à un fichier sont signalées par des exceptions de type `IOException`. Il est obligatoire

1 : L'accès aux fichiers a été grandement simplifié à partir de la version 7 de Java. Cette section décrit des classes et des méthodes qui n'existent pas dans les versions de Java antérieures à cette version.

2 : Attention au `s` !

3 : La différence entre **byte** et `String` sera expliquée à la section 2.3

```

1 import java.io.IOException;
2 import java.nio.file.Files;
3 import java.nio.file.Paths;
4
5 public class CountLines {
6
7     public static void main(String[] a)
8         throws IOException {
9         String content = new String(
10             Files.readAllBytes(Paths.get("LoadFile.java"))
11         );
12
13         int nLines = 0;
14         for (String line : content.split("\n")) {
15             if (!line.isEmpty()) {
16                 nLines += 1;
17             }
18         }
19
20         System.out.println("Il y a " + nLines +
21                             " lignes non vide");
22     }
23
24 }

```

Listing 10 – Exemple de lecture du contenu d'un fichier en Java : le programme compte le nombre de lignes non vides contenues dans un fichier .

de signaler au compilateur ces erreurs éventuelles en ajoutant à la signature des fonctions utilisant des méthodes de la classe `File` la directive `throws IOException`. Cette déclaration s'étend à toutes les méthodes appelant une méthode pouvant lever une telle exception⁴.

Le code du listing 10 copie la totalité d'un fichier dans une variable. Il est ensuite possible d'extraire de cette variable les informations dont on a besoin (dans l'exemple, les lignes composant le fichier). Cette approche n'est cependant pas possible lorsque la taille du fichier est trop grande et que son chargement risque de saturer la mémoire. Il est, dans ce cas, préférable de traiter les informations *à la volée*, comme dans le listing 11. Contrairement au listing 10, le fichier est alors parcouru ligne à ligne et seule une ligne à la fois est stockée en mémoire.

Le listing 11 repose sur l'utilisation de *flux*⁵. La construction, il est vrai particulièrement alambiquée, permet de respecter les contraintes imposées par l'utilisation des flux : en particulier, il est nécessaire de *protéger* à l'aide du mot clé `try` le bloc accédant au fichier afin de garantir que celui-ci soit correctement fermé et éviter une « fuite de ressource » (*resource leak*).

Écriture La classe `Files` fournit un moyen simple d'écrire une chaîne de caractères dans un fichier :

```

1 Path path = Paths.get("exemple.txt");
2 String content = "bonjour Bingzhi !\ncomment vas-tu ?";
3 Files.write(path, content.getBytes("UTF-8"));

```

4 : Ces méthodes sont identifiables par la présence d'une directive `throws` dans leur signature et dans leur *javadoc*. Nous reviendrons sur la gestion des exceptions et la directive `throws` au chapitre 4

5 : Ce flux est représenté par des instances de la classe `Stream` qui sera présentée au chapitre 4

```

1 import java.io.IOException;
2 import java.nio.file.Files;
3 import java.nio.file.Paths;
4 import java.util.stream.Stream;
5
6 public class StreamingCountLines {
7
8     public static void main(String[] a)
9         throws IOException {
10
11         int nLines = 0;
12         try (Stream<String> lines = Files.lines(
13             Paths.get("exemple.txt"))) {
14             for (String line :
15                 (Iterable<String>) lines::iterator) {
16                 if (!line.isEmpty()) {
17                     nLines += 1;
18                 }
19             }
20         }
21
22         System.out.println("Il y a " + nLines + " lignes");
23
24     }
25
26 }

```

Listing 11 – Compte les lignes non vides d'un fichier sans stocker la totalité du fichier en mémoire.

Comme nous le verrons à la section 2.3, il est nécessaire de spécifier un *encodage* qui sera toujours (ou presque) l'UTF-8.

Accès aux fichiers depuis Eclipse Lorsque vous exécutez votre code dans Eclipse, le programme principal est exécuté depuis la racine du projet (le premier nom qui apparaît dans l'explorateur de package et qui correspond au nom du projet). Il y a donc deux moyens d'accéder à un fichier :

- soit en spécifiant son chemin absolu comme argument de la fonction `Paths.get` ;
- soit en spécifiant son chemin relatif par rapport au répertoire `$WORKSPACE/nom_projet` où `$WORKSPACE` est le nom de votre espace de travail choisi lors de la première utilisation d'Eclipse.

En pratique, il est préférable pour les « petits » projets de stocker les documents dans le répertoire du projet afin de faciliter l'écriture des chemins d'accès. Pour cela, il faut déplacer le fichier que l'on souhaite utiliser à la racine du projet (le répertoire indiqué par 1 dans la figure 2.1). Le fichier apparaît alors dans la structure du projet (2^e flèche de cette même figure) et il est accessible depuis le programme en indiquant simplement son nom (que la machine virtuelle ira chercher dans le répertoire courant correspondant au répertoire du projet).

Typiquement ceux que vous développerez pendant ce cours. Pour les projets plus gros, les noms de fichiers sont généralement passés en argument du programme.

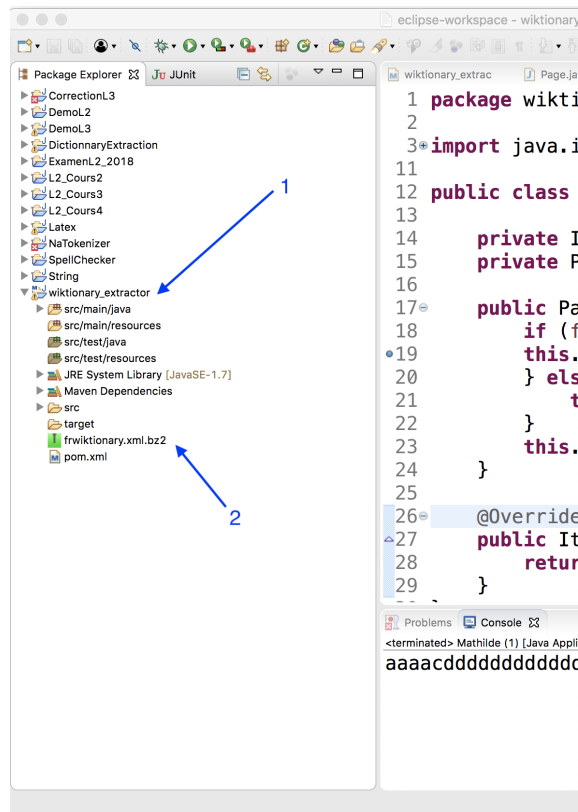


FIGURE 2.1 – Ajout d’un fichier dans un projet eclipse : il faut glisser-déplacer le fichier à la racine du projet (1) ; il apparaît alors à la suite des fichiers déjà présent (2).

2.2 Structures de données

La bibliothèque standard de java contient plusieurs classes pour représenter des *collections* d’objets en Java. Les collections permettent de représenter et de stocker plusieurs éléments de même types : un texte peut, par exemple, être considéré comme une collection de mots, chaque mot étant représenté par une variable de type `String`. Il existe trois principaux types de collections :

- les listes ;
- les ensembles ;
- les dictionnaires.

Ces types de collections se distinguent aussi bien par les opérations qu’ils permettent que par les performances de ces opérations : comme nous le verrons, il est possible, pour les trois types de collections de tester si un élément appartient à la collection ou non mais cette opération sera beaucoup plus efficace pour les ensembles ou les dictionnaires que pour les listes.

En java, toutes les collections sont dynamiques : il est possible d’ajouter et de supprimer des éléments d’une collection sans aucun problème. Elles sont également homogènes : elles ne peuvent contenir que des objets de même type⁶.

L’utilisation d’une structure adaptée permet souvent d’apporter des solutions efficaces, à la fois en terme de temps d’exécution que de « difficulté » de conception. C’est pourquoi il est important de bien connaître non seulement les avantages et les inconvénients des différentes structures de données, mais aussi leurs principaux cas d’utilisation.

6 : Ce n’est pas le cas d’autres langages, comme python, dans lesquels il est possible de définir, par exemple, une liste contenant des chaînes de caractères et des entiers.

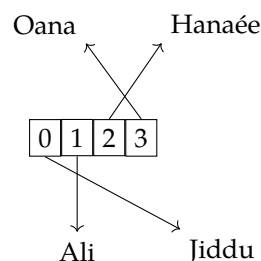
2.2.1 Les listes

Les listes sont des collections dynamiques et ordonnées d'objets homogènes. La classe `ArrayList` de la bibliothèque standard permet de représenter des listes. Comme toutes les classes représentant des collections, il s'agit d'une *classe paramétrée* : le type des objets qui y seront stockés doit être spécifié au moment de la déclaration d'une instance de cette classe. Pour cela, il faut l'ajouter entre chevrons au nom de la classe : par exemple une `ArrayList` contenant des `String` sera de type `ArrayList<String>`; une `ArrayList` contenant des étudiants (représentés par des instances d'une classe `Etudiant`) sera de type `ArrayList<Etudiant>`.

Le code suivant permet de créer une `ArrayList` contenant des `String` et d'insérer trois éléments dans celle-ci :

```
1 ArrayList<String> phrase = new ArrayList<>();
2 phrase.add("Bonjour");
3 phrase.add("les");
4 phrase.add("amis");
```

La principale caractéristique des listes est d'être ordonnée : chaque élément inséré dans une liste est associé à un *indice* indiquant l'ordre dans lequel il a été inséré. Un élément peut être récupéré directement à partir de son indice. Il est possible de considérer une liste comme l'association entre une série d'indices (des entiers consécutifs) et des objets de même type, comme dans la figure 2.2. Une liste peut contenir plusieurs éléments identiques s'ils ont été insérés à des positions différentes.



Les collections java ne permettent pas de stocker des éléments de type primitif : le type doit nécessairement être spécifié par un nom de classe. Nous verrons à la section 2.2.4 comment définir des collections de `double` ou de `int`.

Comme souvent en informatique, le premier élément est inséré à la position 0. Les indices d'une liste contenant n éléments seront donc compris entre 0 et $n - 1$.

FIGURE 2.2 – Représentation schématique d'une liste : les 4 éléments sont associés à un indice (compris entre 0 et 3) et il est possible, connaissant un indice d'accéder directement à l'élément correspondant.

L'interface de la classe `ArrayList` fournit de nombreuses méthodes permettant d'accéder aux éléments stockés ou de modifier celle-ci. Les opérations les plus souvent utilisées sont :

- l'ajout d'un élément à la fin de la liste avec la méthode `add` ;
- le parcours de tous les éléments par ordre d'insertion à l'aide d'une boucle `foreach` :

```
1 int i = 1;
2 for (String mot : phrase) {
3     System.out.println("le " + i + "ème mot est : "
4         + mot);
5     i += 1;
6 }
```

- l'accès à un élément par son index avec la méthode `get` ;

```

1 import java.io.IOException;
2 import java.util.ArrayList;
3
4 public class CountCommon {
5
6     public static void main(String[] a) throws IOException {
7
8         String sent1 = "le chat et le chien dorment bien .";
9         String sent2 = "le chat et la chatte jouent bien .";
10
11         ArrayList<String> words1 = new ArrayList<>();
12         for (String word : sent1.split(" ")) {
13             words1.add(word);
14         }
15
16         ArrayList<String> common = new ArrayList<>();
17         for (String word : sent2.split(" ")) {
18             if (sent1.contains(word) && !common.contains(word)) {
19                 common.add(word);
20             }
21         }
22
23         System.out.println("Il y a " + common.size() +
24                             " mots communs");
25     }
26 }
27

```

Listing 12 – Exemple d'utilisation des ArrayList : le programme détermine le nombre de mots communs entre deux phrases.

- le test d'appartenance avec la méthode `contains` qui renvoie **true** si un objet est présent dans la collection.

L'ajout d'un élément et l'accès à éléments d'une ArrayList sont deux opérations « efficaces » : leur durée d'exécution est, en général, indépendante du nombre d'éléments contenus dans la collection. Au contraire, la durée d'exécution de la méthode `contains` est proportionnelle au nombre d'éléments stockés dans la collection⁷. En pratique, l'usage de la méthode `contains` est déconseillé.

Le listing 12 donne un exemple d'utilisation des ArrayList en montrant comment déterminer les mots communs à deux phrases. Pour cela, le programme commence par construire deux ArrayList contenant les mots de la première phrase⁸. Puis il parcourt les mots de la seconde phrase en regardant pour chaque élément si :

- celui-ci est présent dans la première phrase (pour détecter les mots en commun). Ceux-ci étant stockés dans une ArrayList, ce test peut se faire directement en utilisant les méthodes de la classe.
- celui-ci n'a pas encore été ajouté à l'ArrayList contenant le résultat (pour éviter qu'un mot ne soit compté deux fois).

Si ces deux conditions sont vraies, le mot « courant » est ajouté à une deuxième ArrayList contenant tous les mots communs. Il suffit, une fois toute la phrase parcourue, de déterminer la taille de cette dernière ArrayList.

7 : De manière plus précise, la complexité de la méthode `get` est en $\mathcal{O}(1)$, la complexité *amortie* de la méthode `add` en $\mathcal{O}(1)$ et celle de la méthode `contains` en $\mathcal{O}(n)$ où n est le nombre d'éléments stockés dans l'ArrayList.

8 : La construction d'une ArrayList contenant le résultat d'un `split` peut s'écrire de manière plus compacte : `new ArrayList<>(Arrays.asList(s1.split(" ")))`.

Exercice 2.2.1

En utilisant une `ArrayList`⁹ déterminer le nombre de types (mots uniques) apparaissant dans un fichier. On appelle mot une suite de caractères *en minuscule* séparée par des espaces ou des signes de ponctuations (« chat, » et « Chat » sont donc deux mots identiques).

Correction : page 72.

Exercice 2.2.2

Écrire une fonction qui prend en entrée une chaîne de caractères `c` et qui renvoie une `ArrayList` contenant les mots de cette chaîne apparaissant exactement une fois dans `c` dans l'ordre dans lequel ils apparaissent dans `c`.

Correction : page 72.

Composition de structures de données Une `ArrayList` peut stocker des éléments de n'importe quel type complexe. Il est donc tout à fait possible de construire des `ArrayList` d'`ArrayList`. Ainsi, un mot peut être modélisé par une instance de `String`, une phrase comme une liste de mots, c'est-à-dire un `ArrayList<String>`, et un document comme une liste de phrases et donc un `ArrayList<ArrayList<String>>`. Le code suivant montre comment il est possible de construire une telle structure à partir d'un fichier texte contenant une phrase par ligne et dont les mots sont séparés par des espaces :

```

1 public static ArrayList<ArrayList<String>> readText(String text) {
2     ArrayList<ArrayList<String>> doc = new ArrayList<>();
3
4     for (String line : text.split("\n")) {
5         ArrayList<String> sentence = new ArrayList<>();
6         for (String word : line.split(" ")) {
7             sentence.add(word);
8         }
9
10        doc.add(sentence);
11    }
12
13    return doc;
14 }
```

Il est essentiel de noter que cette fonction crée bien une nouvelle instance d'`ArrayList<String>` pour chaque nouvelle ligne du fichier qui est lue (c.-à-d. pour chaque phrase).

9 : Cet exercice a uniquement un but pédagogique : l'utilisation d'un ensemble (cf. §2.2.2) apporte une solution plus jolie et surtout plus efficace.

2.2.2 Les ensembles

Les ensembles sont des collections dynamiques non ordonnées d'éléments uniques. Ils permettent de représenter des ensembles au sens mathématique du terme. Contrairement aux listes, l'ordre d'insertion

n'est pas conservé (il n'y a donc pas d'indices) et la notion d'indice n'est pas définie¹⁰.

La classe `HashSet` de la bibliothèque standard java offre une implémentation d'un ensemble. Les principales méthodes de cette classe sont :

- `add` qui ajoute un élément à la collection ;
- `contains` qui teste si un élément appartient à l'ensemble ou non.

Le principal intérêt des ensembles est de pouvoir tester de manière très efficace si un élément appartient à la collection ou non : le temps d'exécution de ce test est indépendant du nombre d'éléments stockés dans la collection¹¹ alors que, comme nous l'avons vu dans la sous-section précédente, cette opération a un temps d'exécution proportionnel au nombre d'éléments stockés pour les listes¹².

Le listing 13 montre comment le programme du listing 12 peut être amélioré en utilisant des `HashSet` : en plus d'être plus compact (il n'y a pas besoin de tester si le mot est déjà présent dans la collection `common`), le code s'exécutera également nettement plus rapidement pour les « grandes » phrases.

En utilisant les méthodes de la classe `HashSet` et de la classe `Arrays`, il est possible, comme le montre le listing 14, d'apporter une solution encore plus compacte au problème. En plus d'être plus rapide à implémenter (il y a nettement moins d'instructions à taper !), cette solution présente deux avantages importants résultant tout deux du fait que le code est plus concis et de *plus haut niveau*¹³ : l'utilisation de la méthode `retainAll` indique directement ce que fait le code, alors que la solution du listing 13 indique comment il le fait. En conséquence, la deuxième solution est nettement plus facile à comprendre et donc plus lisible et le risque qu'elle contienne une erreur est fortement réduit.

Cet exemple montre à quel point il est important de toujours vérifier les méthodes fournies par les classes avant de commencer à coder.

Exercice 2.2.3

Écrire une méthode qui teste si une instance de `ArrayList<String>` contient des éléments répétés ou non.

Exercice 2.2.4

Étant donné une `ArrayList lst` contenant des chaînes de caractères, comptez le nombre de paires $(lst[i], lst[j])$ avec $i < j$ distinctes. Ainsi, si la liste est `[a, a, b]`, il y a deux paires distinctes respectant la condition : (a, a) et (a, b) .

Conseil : la classe `Pair` du package `javafx.util` permet de représenter une paire.

Les ensembles apportent également une solution efficace et élégante à tous les problèmes nécessitant de supprimer les doublons d'une collection. Par exemple, pour supprimer les doublons d'une liste `l` il suffit d'utiliser le constructeur adapté de `HashSet` :

Pour vous convaincre que vous avez bien compris le principe des objets, vous pouvez vous demander ce qui arriverait si la variable `sentence` était déclarée avant la première boucle `for` (p. ex. à la ligne 3).

10 : L'opération « accéder au i^{e} élément » n'a donc pas de sens.

11 : De manière plus précise, la complexité de l'opération est en $\mathcal{O}(1)$.

12 : De manière plus précise, l'opération a une complexité en $\mathcal{O}(n)$ où n est le nombre d'éléments stockés.

13 : Ces arguments sont en tout point identiques à ceux motivant l'utilisation des fonctions développés dans la section 1.4


```

1 import java.io.IOException;
2 import java.util.HashSet;
3
4 public class CountCommonHashSet {
5
6     public static void main(String[] a) throws IOException {
7
8         String sent1 = "le chat et le chien dorment bien .";
9         String sent2 = "le chat et la chatte jouent bien .";
10
11         HashSet<String> words1 = new HashSet<>();
12         for (String word : sent1.split(" ")) {
13             words1.add(word);
14         }
15
16         HashSet<String> common = new HashSet<>();
17         for (String word : sent2.split(" ")) {
18             if (words1.contains(word)) {
19                 common.add(word);
20             }
21         }
22
23         System.out.println("Il y a " + common.size() +
24                             " mots communs");
25     }
26 }
27

```

Listing 13 – Programme déterminant le nombre de types communs entre deux phrases à l'aide d'un HashSet.

```

1 ArrayList<String> lUnique = new ArrayList<>(new HashSet<>(1));

```

2.2.3 Les dictionnaires

Un dictionnaire représente une collection d'associations entre une paire d'objets : une clé et la valeur qui lui est associée. Un des principaux intérêts des dictionnaires est qu'il est possible, connaissant une clé, de retrouver la valeur qui lui est associée. Un dictionnaire peut être vu comme un annuaire téléphonique : celui-ci permet de stocker des associations entre des noms de personnes et des numéros de téléphone et il est possible, connaissant un nom, de retrouver le numéro de téléphone qui lui est associé, le contraire (retrouver un nom connaissant un numéro de téléphone étant beaucoup plus compliqué). Mais, contrairement à un annuaire, les clés doivent cependant être uniques et celles-ci ne sont pas ordonnées : il n'est possible d'associer qu'une seule valeur à une clé donnée ; mais plusieurs clés peuvent être associées à des valeurs identiques. En pratique, il est possible de considérer les HashMap comme des généralisations de listes dans lesquels les indices peuvent être des objets arbitraires.

La classe HashMap permet de représenter des dictionnaires en java. Comme toutes les collections, il faut spécifier lors de la déclaration le type des éléments qui y seront stockés. Il y a, pour les dictionnaires,

```

1 public static void main(String[] a) throws IOException {
2
3     String sent1 = "le chat et le chien dorment bien .";
4     String sent2 = "le chat et la chatte jouent bien .";
5
6     HashSet<String> words1 =
7         new HashSet<>(Arrays.asList(sent1.split(" ")));
8     HashSet<String> words2 =
9         new HashSet<>(Arrays.asList(sent2.split(" ")));
10
11     words1.retainAll(words2);
12
13     System.out.println("il y a " + words1.size() +
14                       " mots en commun");
15
16 }

```

Listing 14 – Refactoring du code du listing 13 utilisant les méthodes de la classe `HashSet`.

deux types à spécifier : le type des clés et le type des valeurs qui devront être spécifiés, séparé par une virgule, dans cet ordre. Par exemple, la déclaration d'un dictionnaire associant une chaîne de caractères à une autre sera :

```

1 HashMap<String, String> mapping = new HashMap<>();

```

un tel dictionnaire permet, par exemple, de représenter un lexique associant à un mot anglais sa traduction en français. Cette représentation impose toutefois une contrainte forte : un mot anglais ne peut avoir qu'une seule traduction en français. Pour associer un mot anglais à une liste de traductions possibles en français, il faut déclarer une variable de type `HashMap<String, ArrayList<String>>`.

L'interface de la classe `HashMap` définit quatre méthodes principales :

- la méthode `put(key, value)` qui crée une association entre une clé et une valeur ;
- la méthode `get(key)` qui retourne la valeur associée à une clé. Cette méthode renvoie `null` lorsque la clé n'est pas présente dans le dictionnaire. Il est donc nécessaire de vérifier explicitement si la clé est contenue dans le dictionnaire avant d'utiliser la valeur qui lui est associée. De manière générale conservée une référence dont la valeur est `null` est dangereux : il est probable que cette référence soit utilisée à un moment ou à un autre et entraîne la levée d'une exception `NullPointerException`. Retrouver la cause de cette exception peut être très difficile (celle-ci peut avoir été « créée » longtemps avant !) et il est préférable de détecter les références `null` dès que possible.
- la méthode `getOrDefault(key, defaultValue)` qui renvoie la valeur associée à la clé `key` si celle-ci est présente dans le dictionnaire et `defaultValue` dans le cas contraire.
- la méthode `containsKey(key)` qui teste si une clé est présente dans le dictionnaire ou non.

Le code du listing 15 met en œuvre ces méthodes.

Ce code permet de « traduire » mot-à-mot une phrase française en anglais : la phrase anglaise est générée en considérant successivement

Selon les langages, les dictionnaires peuvent également être appelés « tableaux associatifs », « table de hachage » ou « hash map ».

les mots de la phrase française et en insérant soit la traduction de celui-ci si celle-ci est connue soit le mot directement entre astérisques. Le code tire avantage de la méthode `getOrDefault` qui délègue la vérification de la présence d'un clé dans le dictionnaire à l'implémentation de la classe `HashMap`, plutôt que de réaliser celui-ci explicitement, par exemple, de la manière suivante :

```

1  if (dico.containsKey(word)) {
2      translatedSentence += " " + dico.get(word);
3  } else {
4      translatedSentence += " *" + word + "*";
5  }

```

Exercice 2.2.5

Écrire une fonction qui prend en paramètre un nom de fichier et renvoie un dictionnaire associant chaque type contenu dans le fichier au nombre d'occurrence de celui-ci : si le contenu du fichier est `"a b a\ na b"`, le dictionnaire renvoyé sera : `{'a': 3, 'b': 1}`

Correction : page 74.

Exercice 2.2.6

Une entreprise de nanotechnologie *Molecule* vient de vous engager pour écrire un programme capable de gérer l'inventaire de l'entreprise. Ce programme doit définir trois fonctions permettant :

- de lire dans un fichier la liste des atomes disponibles dans les stocks de l'entreprise et de retourner un dictionnaire dont les clés sont des atomes et les valeurs associées le nombre d'atomes de ce type disponibles;
- de lire dans un autre fichier les « recettes » indiquant quels atomes entrent dans la composition des différentes molécules fabriquées par l'entreprise et de renvoyer un dictionnaire dont les clés sont les noms des molécules et dont les valeurs sont des dictionnaires décrivant combien d'atome de chaque sorte entre dans la composition de la molécule;
- produire la liste des molécules que l'entreprise peut produire.

Le fichier décrivant les molécules a le format suivant :

```

# Comments start with '#' and go to the end of the line.
# Blank lines (like the one below) are allowed.

helium : He 1           # molecule name, colon, atom type,
                        # number of atoms
ammonia : N 1 H 3       # molecules may contain many
                        # types of atoms
salt : Na 1 Cl 1        # atom names may be one or two
                        # characters long
lithium hydride : Li 1 H 1 # molecule names may be several
                        # words long

```

Le fichier donnant la liste des atomes disponibles dans les stocks de l'entreprise à le format suivant :

```
# Once again, comments and blank lines are allowed.

He 3          # atom name, number available
H 2
N 5
Li 1

Avec ces deux fichiers, la sortie serait :

helium
lithium hydride
```

2.2.4 Opérations sur les collections

La classe `Collections` comportent un certain nombre de méthodes permettant de réaliser les opérations courantes sur les collections. Il est, en particulier, possible de trier les éléments, chercher le plus petit ou le plus grand élément, de compter le nombre d'occurrences d'un éléments. Le listing 16 donne un exemple de l'utilisation de ces méthodes pour déterminer les n plus grands nombres lus dans un fichier contenant sur chaque ligne un mot précédé du nombre d'occurrences de celui-ci dans un corpus comme dans l'exemple ci-dessus :

```
1 terminait
15 Union
11 laquelle
37 C'
6 sais
1 Arfuredson
1 Permettez
7 Quand
3 emmener
1 rendrait
5 produit
11 entièrement
```

2.2.5 Créations de collections à partir de valeurs

La bibliothèque standard de java contient de nombreuses classes permettant de représenter toutes les collections utiles (et plus encore, selon certain-e-s). Il n'est cependant pas possible que de créer des collections vides (`new HashMap<>()`) ou à partir de collections existantes (`new HashSet<>(lst)` où `lst` est, par exemple, une `ArrayList`) et non pas en spécifiant directement les valeurs le composant (comme, par exemple, en python où il est possible de créer une liste initialisé par : `[1, 2, 3]`).

Les dernières versions de java offrent plus de souplesse en permettant, par exemple, d'initialiser une `HashMap` en écrivant :

```
1  HashMap<String, Integer> m = new HashMap<>(
2      Map.of("nsubj", 1, "obj", 7)
3  );
```

```

1 import java.util.HashMap;
2
3 public class WordTranslator {
4
5     public static void main(String[] s) {
6         String sentence = "the cat sleeps on the mat";
7
8         HashMap<String, String> dict = new HashMap<>();
9         String content = "the:le;cat:chat;sleeps:dort";
10
11         for (String pair : content.split(";")) {
12             dict.put(pair.split(":")[0], pair.split(":")[1]);
13         }
14
15         String translatedSent = "";
16         for (String word : sentence.split(" ")) {
17             translatedSent += " " + dict.getOrDefault(word, "*" + word + "*");
18         }
19         translatedSent = translatedSent.substring(1);
20
21         System.out.println(translatedSent);
22     }
23 }
24
25 }

```

Listing 15 – Exemple d'utilisation d'un dictionnaire : traduction d'une phrase mot-à-mot avec gestion des mots inconnus.

Il existe également des bibliothèques, comme Guava¹⁴, offrant la possibilité de créer des structures initialisées.

```

1 import java.io.IOException;
2 import java.nio.file.Files;
3 import java.nio.file.Paths;
4 import java.util.ArrayList;
5 import java.util.Collections;
6 import java.util.List;
7
8 public class CollectionsDemo {
9
10     public static void main(String[] s)
11         throws IOException {
12         System.out.println(nMostFrequent(
13             Files.readAllLines(Paths.get("counts.txt")), 3)
14         );
15     }
16
17     public static List<Integer> nMostFrequent(
18         List<String> content,
19         int n) {
20         ArrayList<Integer> counts = new ArrayList<>();
21         for (String line : content) {
22             Integer count = Integer.parseInt(
23                 line.trim().split(" ")[0]
24             );
25             counts.add(count);
26         }
27
28         Collections.sort(counts);
29         System.out.println(counts);
30         return counts.subList(counts.size() - n,
31                               counts.size());
32     }
33 }
34

```

Listing 16 – Fonction déterminant les n mots les plus fréquents contenu dans un fichier comme celui de la figure ??.

2.3 Java & Unicode

Les programmes d'aujourd'hui (surtout ceux de TAL) doivent être capables de traiter des textes écrits dans n'importe quelle langue. D'un point de vue informatique, manipuler une grande variété d'alphabets pose de nombreux problèmes qui sont en partie résolus par l'utilisation du standard UNICODE. Cette section a pour objectif de présenter les principales notions de ce standard et leur implémentation en java.

2.3.1 Principe de représentation des chaînes de caractères

Pour comprendre les différentes entités définies dans le standard UNICODE, il est nécessaire de comprendre comment les caractères sont représentés et manipulés par un ordinateur. Un ordinateur ne sait manipuler que des bits (des 0 et des 1) qui peuvent être regroupés pour représenter des nombres. Pour représenter un caractère, il est donc

14 : Guava est une bibliothèque développée par Google, qui apporte plusieurs « améliorations » au langage java. Voir <https://github.com/google/guava>

nécessaire d'associer celui-ci à un nombre. C'est le principe des pages de codes (*code page*) qui peuvent être vues comme des dictionnaires (au sens de HashMap) associant à un caractère un nombre. La figure 2.3 montre la totalité de la page ASCII, l'une des première page de code standardisée et la table 2.1 un court extrait de la page UNICODE.

Comme le montre ces deux exemples, la représentation d'un caractère met en œuvre trois entités :

- le *caractère* à proprement parlé, une entité abstraite représentant une partie d'un mot. On peut, par exemple, vouloir manipuler le caractère représentant le diagramme soudé oe¹⁵ en majuscule.
- le *code* qui lui est associé : pour Œ, ce code est U+0152 dans la page UNICODE, 234 dans la page ISO 6937. C'est ce code qui est stocké et manipulé par l'ordinateur.
- le *glyphe* qui est utilisé pour afficher le caractère à l'écran. Un même code peut être rendu (représenté) par plusieurs glyphes : Œ, Œ, Œ, œ, ...

Une séquence de n bits permet de représenter les entiers compris entre 0 et $2^n - 1$.

15 : C'est la dénomination officielle du caractère o-e entrelacé dans la norme UNICODE.

Decimal	Hexadecimal	Binary	Octal	Char	Decimal	Hexadecimal	Binary	Octal	Char	Decimal	Hexadecimal	Binary	Octal	Char
0	0	0	0	[NULL]	48	30	110000	60	0	96	60	1100000	140	`
1	1	1	1	[START OF HEADING]	49	31	110001	61	1	97	61	1100001	141	a
2	2	10	2	[START OF TEXT]	50	32	110010	62	2	98	62	1100010	142	b
3	3	11	3	[END OF TEXT]	51	33	110011	63	3	99	63	1100011	143	c
4	4	100	4	[END OF TRANSMISSION]	52	34	110100	64	4	100	64	1100100	144	d
5	5	101	5	[ENQUIRY]	53	35	110101	65	5	101	65	1100101	145	e
6	6	110	6	[ACKNOWLEDGE]	54	36	110110	66	6	102	66	1100110	146	f
7	7	111	7	[BELL]	55	37	110111	67	7	103	67	1100111	147	g
8	8	1000	10	[BACKSPACE]	56	38	111000	70	8	104	68	1101000	150	h
9	9	1001	11	[HORIZONTAL TAB]	57	39	111001	71	9	105	69	1101001	151	i
10	A	1010	12	[LINE FEED]	58	3A	111010	72	:	106	6A	1101010	152	j
11	B	1011	13	[VERTICAL TAB]	59	3B	111011	73	;	107	6B	1101011	153	k
12	C	1100	14	[FORM FEED]	60	3C	111100	74	<	108	6C	1101100	154	l
13	D	1101	15	[CARRIAGE RETURN]	61	3D	111101	75	=	109	6D	1101101	155	m
14	E	1110	16	[SHIFT OUT]	62	3E	111110	76	>	110	6E	1101110	156	n
15	F	1111	17	[SHIFT IN]	63	3F	111111	77	?	111	6F	1101111	157	o
16	10	10000	20	[DATA LINK ESCAPE]	64	40	1000000	100	@	112	70	1110000	160	p
17	11	10001	21	[DEVICE CONTROL 1]	65	41	1000001	101	A	113	71	1110001	161	q
18	12	10010	22	[DEVICE CONTROL 2]	66	42	1000010	102	B	114	72	1110010	162	r
19	13	10011	23	[DEVICE CONTROL 3]	67	43	1000011	103	C	115	73	1110011	163	s
20	14	10100	24	[DEVICE CONTROL 4]	68	44	1000100	104	D	116	74	1110100	164	t
21	15	10101	25	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	69	45	1000101	105	E	117	75	1110101	165	u
22	16	10110	26	[SYNCHRONOUS IDLE]	70	46	1000110	106	F	118	76	1110110	166	v
23	17	10111	27	[END OF TRANS. BLOCK]	71	47	1000111	107	G	119	77	1110111	167	w
24	18	11000	30	[CANCEL]	72	48	1001000	110	H	120	78	1111000	170	x
25	19	11001	31	[END OF MEDIUM]	73	49	1001001	111	I	121	79	1111001	171	y
26	1A	11010	32	[SUBSTITUTE]	74	4A	1001010	112	J	122	7A	1111010	172	z
27	1B	11011	33	[ESCAPE]	75	4B	1001011	113	K	123	7B	1111011	173	{
28	1C	11100	34	[FILE SEPARATOR]	76	4C	1001100	114	L	124	7C	1111100	174	
29	1D	11101	35	[GROUP SEPARATOR]	77	4D	1001101	115	M	125	7D	1111101	175	}
30	1E	11110	36	[RECORD SEPARATOR]	78	4E	1001110	116	N	126	7E	1111110	176	~
31	1F	11111	37	[UNIT SEPARATOR]	79	4F	1001111	117	O	127	7F	1111111	177	[DEL]
32	20	100000	40	[SPACE]	80	50	1010000	120	P					
33	21	100001	41	"	81	51	1010001	121	Q					
34	22	100010	42	'	82	52	1010010	122	R					
35	23	100011	43	#	83	53	1010011	123	S					
36	24	100100	44	\$	84	54	1010100	124	T					
37	25	100101	45	%	85	55	1010101	125	U					
38	26	100110	46	&	86	56	1010110	126	V					
39	27	100111	47	'	87	57	1010111	127	W					
40	28	101000	50	(	88	58	1011000	130	X					
41	29	101001	51	)	89	59	1011001	131	Y					
42	2A	101010	52	*	90	5A	1011010	132	Z					
43	2B	101011	53	+	91	5B	1011011	133	[					
44	2C	101100	54	,	92	5C	1011100	134	\					
45	2D	101101	55	-	93	5D	1011101	135	]					
46	2E	101110	56	.	94	5E	1011110	136	^					
47	2F	101111	57	/	95	5F	1011111	137	_					

FIGURE 2.3 – La table ASCII (en totalité). source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:ASCII-Table.svg>

La page de code ASCII ne permet de décrire que les 26 lettres de l'alphabet latin, divers signes de ponctuations, des caractères « blancs » (espace, tabulations, retour à la ligne, ...) et des *caractères de contrôle*¹⁶. Cette page de code ne contient donc que le strict nécessaire pour utiliser un ordinateur en anglais : il ne permet pas de représenter ni les accents, ni les caractères d'autres alphabets (le eszett ß, les caractères hébreux ou cyrilliques, ...). Pour palier ces limites, de très nombreuses pages de code ont été définies pour étendre la page ASCII¹⁷ par différents pays (pour représenter les caractères propres à chaque langue ou alphabet) ou différentes entreprises (Microsoft a ainsi développé des pages de code spécifiques à Windows).

16 : Les caractères de contrôle sont des caractères qui ne représentent pas un symbole. Ils sont notamment utilisés pour la mise en page (saut de ligne, tabulation, ...).

code point	caractère	description
U+0061	a	Latin Small Letter A
U+0062	b	Latin Small Letter B
U+0063	c	Latin Small Letter C
	...	
U+007B	{	Left Curly Bracket
	...	
U+2167	VIII	Roman Numeral Eight
U+2168	IX	Roman Numeral Nine
	...	
U+1F600	😊	Grinning Face
U+1F609	😉	Winking Face
	...	
U+265E	♞	Black Chess Knight
U+265F	♟	Black Chess Pawn

TABLE 2.1 – Extrait de la table UNICODE. Suivant les conventions, le code de chaque lettre est donné en hexadécimal et précédé du préfixe U+.

Pendant longtemps, l'existence de ces standards multiples a posé de nombreux problèmes de compatibilités : comme un même code représentait des caractères différents d'une page de code à l'autre, la personne recevant un message ne lisait pas forcément la même chose que celle l'ayant écrit dès que celles-ci n'utilisaient pas la même page de code (p. ex. parce qu'elles utilisaient des systèmes d'exploitation différents ou n'étaient pas dans la même zone géographique). Ces problèmes avaient deux sources principales :

- lorsqu'un ordinateur reçoit un texte (une suite de bits représentant des caractères) il n'a aucun moyen de déterminer quelle page de code il doit utiliser pour interpréter celle-ci. Il faut donc que la page soit explicitement spécifiée (et que la valeur indiquée soit correcte !)
- même lorsque la page de code est connue, il faut disposer d'une police¹⁸ capable d'afficher les caractères décodés.

Par exemple, la figure 2.5 représente une page de Wikipédia affichée avec la page de code Windows Cyrillic alors que le document a été écrit avec la page de code UNICODE : si les caractères « de base » (c.-à-d. ceux présents dans la page ASCII) sont toujours lisibles, les caractères accentués (comme « chinois simplifié » dans la première phrase de la page), certains signes de ponctuations et les caractères chinois sont remplacés par des caractères sans queue ni tête.

Aujourd'hui la quasi totalité des textes sont encodés en utilisant le standard UNICODE. Ce standard permet de représenter les caractères des alphabets de toutes les langues existantes ou ayant existé (y compris le Klingon) mais également des notes de musique, des symboles mathématiques et les émoticônes. Il est régulièrement mis à jour pour prendre en compte les demandes de création de nouveaux caractères¹⁹. Plusieurs caractéristiques d'UNICODE expliquent pourquoi il a réussi à s'imposer et à remplacer progressivement tous les autres standards :

- il permet de représenter tous les caractères possibles et imaginables et de nouveaux caractères sont régulièrement ajoutés ;

17 : La plupart des pages définies sont des *extensions* de la page ASCII qui peut être vue comme le plus petit dénominateur commun des pages existantes : les caractères ASCII sont généralement présents dans toutes les pages et associés au même code.



FIGURE 2.4 – Texte affiché avec le mauvais encodage. source : <http://sdz.tdct.org/sdz/asser-du-latin1-a-l-unicode.html>

18 : Une police de caractère contient l'ensemble des glyphes nécessaires à la représentation de l'ensemble des caractères d'un langage, complet et cohérent.

Naxi

T Cette page contient des caractères spéciaux ou non latins. Si certains caractères de cet article s’affichent mal (carrés vides, points d’interrogation, etc.), consultez la page d’aide Unicode.

Pour les articles homonymes, voir *Naxi* (homonymie).

Les **Naxi**¹ (chinois simplifié : 纳西族 ; chinois traditionnel : 納西族 ; pinyin : *nàxī zú*) sont l’un des 56 groupes ethniques de Chine. Ils vivent dans le Yunnan.

Au recensement de 2010, ils vivaient principalement dans la préfecture de Lijiang (240 580) et, dans une moindre mesure, les préfectures voisines : la préfecture autonome tibétaine de Diqing (46 402), la préfecture autonome bai de Dali (4 686) et la Préfecture autonome yi de Chuxiong (759). Certains résident également dans la province du Sichuan voisine², la Préfecture autonome yi de Liangshan (5 639) et la Préfecture autonome tibétaine de Garzê (771).

Jadis, ce peuple utilisait plusieurs appellations pour s’auto-désigner¹ : *Naxi* 纳西, *Nari* 納里, *Naheng* 納亨 ou



FIGURE 2.5 – La page Wikipédia sur les Naxi (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Naxi>) affiché avec une page de code différente de celle avec laquelle le texte a été écrit.

— il est compatible avec un grand nombre de pages de code existantes.

2.3.2 Caractéristiques d’UNICODE

Caractères et propriétés Le standard UNICODE peut donc être vu comme une grande table associant des caractères à des points de code (*code points*). La spécification UNICODE inclut également des informations sur ces derniers : les *propriétés* du caractère²⁰. Pour chaque point de code défini, il est possible d’accéder au nom du caractère, à sa catégorie... mais également à des propriétés liées à l’affichage telles l’utilisation du point de code dans un texte bidirectionnel²¹ ou pour le changement de casse du caractère. La figure 2.6 donne un exemple des propriétés associées à un caractère dans le standard UNICODE.

La catégorie d’un caractère décrit la nature de celui-ci. Ces catégories permettent, par exemple, d’identifier les « Lettres », les « Nombres », les « Ponctuations » ou les « Symboles » ; ces catégories sont à leur tour divisées en sous-catégories.

Encodage Une chaîne UNICODE est une séquence de points de code, qui sont des entiers compris entre 0 et 1 114 111 (0x10FFFF en hexadécimal). Cette séquence de points de code doit être stockée en mémoire. Les règles de traduction d’une chaîne UNICODE en une séquence d’octets sont appelées un *encodage de caractères* ou simplement un *encodage*²². Une représentation directe de ces nombres (chaque point de code peut être décrit par un entier codé sur 32 bits) serait extrêmement inefficace : la quasi totalité des textes courants n’utilise qu’un petit sous-ensemble de tous les caractères définis dans le standard UNICODE qui correspondent aux premiers points de code et leur représentation sur 32 bits sera essentiellement constituée de 0. Par exemple, avec un codage sur 32 bits, la chaîne java sera encodée de la manière suivante :

j	a	v	a
106	97	118	97
0	0	0	0
0	0	0	0

et nécessitera donc 16 octets pour être représentée soit quatre fois plus qu’une représentation de la chaîne ne stockant pas les octets non nuls

19 : Un [article](#) daté du 1^{er} février 2020 dans *Le Monde* explique pourquoi et comment un nouveau caractère représentant la fondue a été ajouté en 2020 au standard UNICODE et pourquoi le consortium a refusé d’introduire un caractère représentant la raclette. Cet article, ainsi que le dossier déposé pour justifier la nécessité de définir ce caractère (consultable [ici](#)) donne un exemple de la teneur des discussions au sein du consortium.

20 : Une description détaillée des propriétés est disponible sur la page Wikipédia « [Unicode character property](#) »

21 : Ces propriétés permettent de savoir comment afficher un document mélangeant, par exemple, français (qui s’écrit de gauche à droite) et arabe (qui s’écrit de droite à gauche) et comment interagir avec ces documents (par exemple pour sélectionner du texte).

Unicode Data	
Name	LATIN SMALL LIGATURE OE
Block	Latin Extended-A
Category	Letter, Lowercase [Ll]
Combine	0
BIDI	Left-to-Right [L]
Mirror	N
Old name	LATIN SMALL LETTER O E
Index entries	o e, latin small letter ethel e, latin small letter o LATIN SMALL LIGATURE OE SMALL LIGATURE OE, LATIN LIGATURE OE, LATIN SMALL OE, LATIN SMALL LIGATURE
Upper case	U+0152
Title case	U+0152
Comments	ethel (from Old English eðel) French, IPA, Old Icelandic, Old English, ...
See Also	latin small letter ae U+00E6 latin letter small capital oe U+0276
Version	Unicode 1.1.0 (June, 1993)

FIGURE 2.6 – Un exemple des propriétés UNICODE associée au caractère « œ ».

(qui correspond dans ce cas à l’encodage de la chaîne en ASCII puisque la chaîne ne comporte que des lettres de l’alphabet anglais).

Pour éviter ce problème, la norme UNICODE définit plusieurs encodage. L’encodage le plus utilisé aujourd’hui est l’UTF-8. Dans cet encodage, les premiers caractères (correspondant à ceux de la table ASCII) sont représentés sur un octet, les suivants sur 2, 3 voire 4 octets.

Cette représentation de taille variable complique la plupart des méthodes d’accès aux données et de nombreux algorithmes de traitement de chaînes. L’UTF-8 présente toutefois plusieurs propriétés intéressantes :

- il peut gérer n’importe quel point de code UNICODE ;
- les caractères sont codés exactement de la même manière en UTF-8 et en ASCII ;
- UTF-8 est assez compact. La majorité des caractères couramment utilisés peuvent être représentés avec un ou deux octets.

Il existe d’autres encodage de l’UNICODE comme l’UTF-16 ou l’UTF-32 mais ceux-ci sont plus rarement utilisés.

Un ordinateur ne voit pas une chaîne de caractères mais une suite de bits. Il a besoin de connaître l’encodage utilisé, à la fois pour savoir comment interpréter (décoder) cette suite et pour savoir quel caractère associé à celle-ci. Comme pour toutes les pages de code, l’encodage doit être spécifié explicitement pour éviter de voir apparaître des caractères bizarres comme ceux de la Figure 2.5.

Homoglyphes Les homoglyphes sont des caractères dont les glyphes sont visuellement indiscernables mais qui correspondent à des codes différents. Par exemples, le standard UNICODE définit les caractères suivants :

22 : D’un point de vue purement formel et contrairement à une croyance répandue, UNICODE n’est pas un encodage mais uniquement une association entre un caractère et un nombre qui doit être encodé pour être représenté en mémoire.

UTF signifie Unicode Transformation Format et regroupe tous les encodages UNICODE.

Ces opérations sont aujourd’hui implémentées en standard dans la plupart des langages de programmation et ce problème n’en n’est plus vraiment un.



FIGURE 2.7 – Glyphes des différentes lettres représentant un A en UNICODE. Les lettres sont données dans l'ordre du texte. (source: <http://www.fileformat.info/info/unicode/char/search.htm>)

- Latin Capital Letter A (U+0041);
- Cyrillic Capital Letter A (U+0410);
- Greek Capital letter Alpha (U+0391);
- Cherokee Letter Go (U+13AA);
- Canadian Syllabics Carrier Gho (U+15C5);
- Latin Small Letter Capital A (U+1D00);
- Lisu Letter A (U+A4EE);
- Carian Letter A (U+102A0);
- Mathematical Sans-Serif Capital A (U+1D5A0);
- Mathematical Monospace Capital A (U+1D670).

Comme le montre la figure 2.7, tous ces caractères sont cependant visuellement très proches. Il est même plus que probable que dans certaines polices une même glyphe soit associée à plusieurs de ces codes. L'existence des homoglyphes est en partie due au fait que les concepteurs d'UNICODE ont voulu maintenir une certaine compatibilité avec les pages de code existantes mais également parce qu'il se trouve simplement que dans de nombreux cas des caractères différents ont une représentation proche.

La présence d'homoglyphes posent de nombreux problèmes pour le traitement des textes. Par exemple, pour n'importe quel utilisateur les chaînes `voce` et `voce` d'une part et `À` et `à` d'autre part sont parfaitement équivalentes alors, qu'en fait, elles n'ont aucun code en commun : le premier `voce` est composé des caractères latins U+0076, U+006F, U+0063, U+0065 and U+0073; le second mélange des caractères cyrilliques et grecs : U+03BD, U+03BF, U+0441 and U+0435. Si cet exemple peut paraître artificiel (et il l'est effectivement), ce type de problème apparaît fréquemment lorsqu'un utilisateur saisie un mot ou une phrase dans un alphabet qui ne correspond pas à celui de son clavier.

L'exemple des deux représentations possibles de `À` illustre une particularité du standard UNICODE : la possibilité de *combiner* des caractères. Ainsi `À` peut être écrit comme une séquence de deux caractères :

- A: Latin Capital Letter A (U+0041)
- ò: Combining Grave Accent (U+0300)

Dans le second cas, c'est le programme gérant l'affichage qui sera chargé de construire la glyphe « à la volée » en combinant la glyphe de l'accent grave avec la glyphe du A. Tous les points de code devant être combinés à d'autres caractères sont regroupés dans la catégorie « Combiner ». Cette catégorie regroupe les diacritiques usuels mais également différents symboles. La figure 2.8 montre le premier *bloc* de point de code de cette catégorie.

La possibilité de combiner des caractères a plusieurs avantages : elle simplifie la conception des polices de caractères²³ ou de définir des caractères non usuels. Par exemple, le symbole `ı` peut facilement être combiné pour donner `ı̇`. Ce dernier symbole correspond aux deux points de code U+027B (Latin Small Letter Turned R with Hook) et U+030D (Combining Vertical Line Above).

Cette propriété permet à de vieux programmes qui n'ont pas été conçus pour un autre encodage que l'ASCII de fonctionner encore si on leur passe du texte en UTF-8.

Respectivement Greek Small Letter Nu, Greek Small Letter Omicron, Cyrillic Small Letter Es et Cyrillic Small Letter Ie' (U+0435)

	030	031	032	033	034	035	036
0	0300	0301	0302	0303	0304	0305	0306
1	0307	0308	0309	030A	030B	030C	030D
2	030E	030F	0310	0311	0312	0313	0314
3	0315	0316	0317	0318	0319	031A	031B
4	031C	031D	031E	031F	0320	0321	0322

caractère	NFD	NFC
<i>Singleton</i>		
Å U+212B	A + ◊ U+0041 U+030A	Å U+00C5
Ω U+2126	Ω U+03A9	Ω U+03A9
<i>Composition canonique</i>		
ô U+00F4	o + ◊ U+006F U+0302	ô U+00F4
<i>Composition canonique multiple</i>		
□ U+1E69	s + ◊ + ◊ U+0073 U+0323 U+0307	□ U+1E69
đ U+1E0B U+0323	d + ◊ + ◊ U+0064 U+0323 U+0307	đ + ◊ U+1E0D U+0307
ṗ U+0071 U+0307 U+0323	q + ◊ + ◊ U+0071 U+0323 U+0307	q + ◊ + ◊ U+0071 U+0323 U+0307

TABLE 2.2 – Exemple de transformations mises en jeu lors de la normalisation vers la forme normale canonique.

Normalisation Pour palier les problèmes soulevés par les homographes (ou du moins une partie de ceux-ci), le standard UNICODE définit la notion d'*équivalence canonique* : le standard liste explicitement des points de code ou des combinaisons de points de code qui décrivent le même caractère²⁴. Il définit également un algorithme de *normalisation* qui transforme une chaîne UNICODE vers une *forme normale* dans laquelle les formes équivalentes sont transformées en un même point de code (ou série de points de code). La forme normale repose sur deux types de transformations :

- les caractères qui décrivent le même symbole sont tous transformé vers un point de code unique ;
- les caractères de la classe COMBINER (décrivant notamment les diacritiques) sont soit *décomposés* soit *composés* quand c'est possible.

Il existe donc deux formes de normalisation :

- la *forme normale C* (NFC) dans laquelle les points de code de la catégorie Combiner sont remplacés par des formes composées dès que possible ;
- la *forme normale D* (NFD) dans laquelle, au contraire, toutes les formes pouvant être décomposées le sont.

La norme UNICODE propose un autre type de normalisation reposant sur la notion de *compatibilité* : deux points de code (ou séquence de points de code) seront définis comme compatibles si leur sémantique est jugée suffisamment « proche ». C'est par exemple le cas pour :

- les ligatures : fi (U+FB01) est compatible avec f i (U+0066 + U+0069) ;
- les exposants : 2⁵ (U+0032 + U+2075) est compatible avec 2 5 (U+0032 + U+0035)
- í (017F) (s long) est compatible avec s (U+0073).

Comme pour la normalisation vers des formes canoniques, il y a deux types de normalisation vers des formes compatibles :

- la forme normale NFKD qui correspond à la forme NFD dans laquelle les points de code compatibles ont tous été transformés vers une même forme ;

23 : les glyphes des caractères Å, È et Ö n'ont pas besoin d'être définie explicitement, mais peuvent être « construits » automatiquement à partir des glyphes des caractères A, E, O et du glyphe représentant un accent grave

24 : Pour être plus précis : le même concept abstrait de caractère

- la normalisation NFKC qui correspond à la forme NFC dans laquelle les points de code compatibles ont été transformés vers une même forme.

La conversion vers une forme normale est nécessaire dès que l'on cherche à comparer des chaînes de caractères UNICODE (y compris si l'on utilise des méthodes comme `startsWith` ou `endsWith`). Le choix de la forme normale dépend par contre de l'application. Une recommandation courante est d'utiliser la forme NFC qui, plus compacte, permet d'utiliser moins de mémoire et de réduire les temps de traitement.

2.3.3 Représentation des chaînes de caractères en java

La classe `String` représente une chaîne de caractères UNICODE en stockant une liste de points de code. Elle offre une série de méthodes pour manipuler les chaînes de caractères ainsi que des méthodes permettant d'accéder aux *code points* et, avec l'aide de la classe `Character`, de manipuler directement ceux-ci.

Pour des raisons historiques²⁵, les *code points* peuvent être représentés soit par un type spécifique, des **char** soit par un entier (c.-à-d. un **int**). Seule cette dernière solution permet de représenter la totalité des caractères UNICODE existant aujourd'hui. Il est **absolument impératif** de ne jamais utiliser de méthodes utilisant des **char** aussi bien comme argument que comme type de retour pour garantir que la présence de caractères « spéciaux » causent une erreur ou un comportement indéterminé du programme.

Le nom des différentes formes normales repose sur les conventions suivantes :

- D : décomposition
- C : composition
- K : comptabilité

Création d'une chaîne de caractères Il existe deux moyens de créer une chaîne de caractères :

- soit en l'initialisant directement :

```
1 String s = "bébé";
```

L'utilisation de cette syntaxe suppose toutefois d'indiquer au compilateur l'encodage dans lequel l'éditeur sauvegarde le fichier `.java` et que celui-ci permette de représenter tous les caractères utilisés.

Il est également possible de spécifier directement un caractère par son *code point* (en précédant la valeur hexadécimale de celui-ci du « `\u` ») s'il n'existe pas de moyen simple de saisir celui-ci. L'instruction suivante :

```
1 String s = "Fa\u00F1ch";
```

permet, par exemple, de définir une chaîne de caractères dont la valeur est `Fañch`.

- en lisant les chaînes à partir d'un fichier texte (cf. §2.1). Comme expliqué au paragraphe précédent, il est alors nécessaire de connaître l'encodage du fichier et de spécifier celui-ci explicitement lors de la lecture.

²⁵ : Le langage java a été défini à une époque où tous les caractères UNICODE pouvait être représentés sur 16 bits et où les encodages de taille variable comme l'UTF-8 n'avaient pas encore été inventés. Les **char** ont donc été définis sur 16 bits et ne peuvent donc représenter que les 2^{16} soit les 65 536 premiers caractères UNICODE (la norme en contient plus de 245 000 en 2020). Pour des raisons de *compatibilité ascendante* il est impossible de changer cette définition et il existe, pour la quasi totalité des méthodes manipulant des *code points* une version « historique » prenant en argument un **char** et une version « actuelle » dont les arguments sont de type **int**.

Manipulation des *code points* UNICODE Il est possible, étant donné une chaîne de caractères *s* d'accéder aux *code points* constituant celle-ci de la manière suivante :

```

1  for (int codePoint : s.codePoints().toArray()) {
2      // ...
3  }
```

Dans eclipse, l'encodage du code source est spécifié par la propriété « Text File Encoding » accessible dans le menu Preferences > General > Workspace. Le choix de l'encodage est automatiquement passé au compilateur.

Plusieurs méthodes de la classe `Character` peuvent être utilisées pour :

- tester les propriétés d'un *code point* : `isDigit`, `isAlphabetic`, `isUpperCase`, `isWhitespace`, ...
- avoir des informations sur le *code point* : `getName` permet d'obtenir le nom du caractère UNICODE ; `getType` la catégorie du caractère.

Normalisation et comparaison de `String` La classe `Normalizer` implémente les différentes méthodes de normalisation décrite dans la section précédente. Le listing 17 donne un exemple d'utilisation de cette classe. Ce programme illustre également les problèmes que peut soulever l'utilisation de différentes normalisations UNICODE. La sortie de ce programme est :

```

sans normalization :
98 -> LATIN SMALL LETTER B
233 -> LATIN SMALL LETTER E WITH ACUTE
98 -> LATIN SMALL LETTER B
233 -> LATIN SMALL LETTER E WITH ACUTE
taille = 4
-----
```

```

avec normalization NFKD:
98 -> LATIN SMALL LETTER B
101 -> LATIN SMALL LETTER E
769 -> COMBINING ACUTE ACCENT
98 -> LATIN SMALL LETTER B
101 -> LATIN SMALL LETTER E
769 -> COMBINING ACUTE ACCENT
taille = 6
-----
égalité de bébé et bébé --> false
bébé commence par 'bé' : false
```

L'exécution de ce programme montre à quel point les méthodes de manipulation des chaînes de « haut niveau » sont *fragiles* (les résultats du `equals` et du `startsWith` peuvent paraître en premier abord erronés) et que l'absence de normalisation des chaînes peut entraîner des erreurs pas toujours faciles à détecter.

La méthode `codePoints` renvoie un `Stream` (cf. 4). La conversion de ce `Stream` en tableau permet le parcours de celui-ci à l'aide d'une boucle `for` sans avoir à connaître les méthodes spécifiques à la manipulation des `Stream`

```

1 import java.text.Normalizer;
2
3 public class Unicode {
4
5     // pour réduire la longueur des lignes
6     public static void print(String s) {
7         System.out.println(s);
8     }
9
10    public static void main(String[] args) {
11        String str = "bébé";
12
13        print("sans normalization :");
14        for (int codePt : str.codePoints().toArray()) {
15            print(codePt + " -> " + Character.getName(codePt));
16        }
17        print("taille = " + str.length());
18        print("-----");
19
20        print("\n\navec normalization NFKD: ");
21        String nStr = Normalizer.normalize(str, Normalizer.Form.NFKD);
22        for (int codePt : nStr.codePoints().toArray()) {
23            print(codePt + " -> " + Character.getName(codePt));
24        }
25        print("taille = " + nStr.length());
26
27        print("-----");
28        print(str + " == " + nStr + " = " + str.equals(nStr));
29        print(nStr + " commence par 'bé' : " + nStr.startsWith("bé"));
30    }
31 }

```

Listing 17 – Manipulation de chaîne UNICODE en java.

2.4 Expressions régulières

2.4.1 Définition(s)

Les expressions régulières sont un langage spécialisé permettant de décrire des ensembles de chaînes de caractères. Une expression régulière est composée de caractères et de méta-caractères (`.`, `^`, `$`, `*`, `+`, `?`, `{`, `}`, `[`, `]`, `\`, `|`, `(`, `)`) dont nous verrons progressivement la signification²⁶.

l'expression régulière la plus simple est une chaîne constituée uniquement de caractères (sans aucun méta-caractère) et décrit un ensemble constitué d'un seul élément : la chaîne elle-même. Par exemple, la chaîne `meuh` est une expression régulière décrivant l'ensemble de chaînes `{meuh}`. Le méta-caractère `.` permet de représenter n'importe quelle lettre. Ainsi `me.h` représente l'ensemble `{meah, mebh, mech, ..., meAh, meBh, ... me#h, ...}`. Il est possible d'indiquer certains caractères peuvent être répétés à l'aide d'un *quantificateur*. Les quantificateurs les plus répandus sont :

- `?` qui indique un caractère qui existe zéro ou une fois : l'expression régulière `meuh?` décrit l'ensemble `{meuh, meuh}`;

Cette section ne donne qu'un aperçu très rapide de la syntaxe des expressions régulières. Une description plus complète est disponible dans la [javadoc de la classe `Pattern`](#)

- * qui indique un caractère qui existe zéro ou plusieurs fois : l'expression régulière `meu*h` correspond à l'ensemble (de taille infinie) {`meh`, `meuh`, `meuuh`, `meuuuh`, ...}.
- + qui définit un caractère qui existe une ou plusieurs fois : `meu+h` correspond à {`meuh`, `meuuh`, `meuuuh`, ...} (mais pas `meh`).

Pour appliquer un quantificateur à plusieurs caractères, il suffit de placer ceux-ci entre parenthèses. Ainsi `c(ab)*d` décrit l'ensemble des chaînes {`cd`, `cabd`, `cababd`, ...}.

Le symbole `|` permet d'indiquer un choix entre plusieurs alternatives : `(b|m)eu` décrit l'ensemble {`beu`, `meu`}.

Les différents opérateurs peuvent être combinés : `(m|b)eu+h` correspond à l'ensemble {`beuh`, `meuh`, `beuuh`, `meuuh`, ...} et `a.*a` correspond à toutes les chaînes commençant et se terminant par `a` (y compris la chaîne `aa`).

2.4.2 Utilisation des expressions régulières en java

L'utilisation des expressions régulières en java se fait toujours en deux étapes : une première étape consiste à *définir* l'expression régulière en compilant celle-ci. L'expression régulière est alors représentée par une instance de la classe `Pattern`. Par exemple :

```
1 Pattern p = Pattern.compile("a*b|c");
```

Il est alors possible d'utiliser cette expression régulière pour vérifier si une chaîne donnée appartient à l'ensemble des chaînes représentées par l'expression régulière. Les vérifications sont mises en œuvre par une instance de la classe `Matcher` qu'il est possible de créer en appelant la méthode `matcher` de la classe `Pattern`.

La classe `Matcher` offre deux types de méthodes de recherche :

- la méthode `matches` : qui vérifie que l'ensemble de la ligne corresponde au motif décrit par l'expression régulière
- la méthode `find` : qui vérifie si une partie de la chaîne correspond au motif.

Le listing 18 montre comment utiliser les expressions régulières pour vérifier qu'un fichier stocke bien un dictionnaire en respectant la syntaxe suivante :

- il y a une entrée par ligne
- chaque entrée décrit une clé et une valeur séparée soit par un double point soit par un signe égal.

Groupes Les méthodes `find` et `matches` permettent d'obtenir plus d'informations que le simple fait de savoir si la chaîne appartient ou non à l'ensemble des chaînes décrites par une expression régulière. En particulier il est possible d'identifier des *groupes* dans une expression régulière en plaçant les caractères correspondant entre parenthèses. Par exemple, l'expression régulière `a(bc)d(ef)` identifie 2 groupes.

Les méthodes de recherche permettent d'obtenir les indices du texte auxquels correspondent les groupes. Ainsi, en utilisant la méthode

26 : Pour qu'un méta-caractère soit interprété comme un caractère normal, il faut *protéger* (en anglais : *escape*) celui-ci en le faisant précéder du symbole `\\`. Ainsi `+` sera interprété comme un quantificateur, alors que `\\+` comme le caractère représentant l'addition.


```

1 public class CheckFile {
2
3     public static void main(String[] args) throws IOException {
4         Pattern p = Pattern.compile(".*(:|=).*");
5
6         int lineCount = 1;
7         int nError = 0;
8         for (String line : Files.readAllLines(Paths.get(args[1]))) {
9             Matcher m = p.matcher(line);
10            if (!m.matches()) {
11                System.out.println("la ligne " + lineCount + " n'est pas conforme");
12                nError += 1;
13            }
14            lineCount += 1;
15        }
16        System.out.println("il y a " + nError + " erreurs");
17    }
18
19 }

```

Listing 18 – Programme vérifiant qu'un fichier stocke bien des associations (clé, valeur).

find sur la chaîne aabcdefgg, il est possible de déterminer que le premier groupe²⁷ commence à la position 2 de la chaîne, et le second à la position 5 :

```

1 Pattern p = Pattern.compile("a(bc)d(ef)");
2 Matcher m = p.matcher("aabcdefgg");
3 System.out.println("début groupe 1 : " + m.start(1));
4 System.out.println("début groupe 2 : " + m.start(2));

```

Les groupes sont particulièrement utiles pour capturer des parties d'une chaîne lorsqu'ils sont utilisés avec des quantificateurs ou le méta-caractère « . ». Ainsi, dans l'exemple du listing 18, il est possible de récupérer les valeurs de la paire en utilisant l'expression régulière `(.*)(=|:)(.*)` : la clé est capturée par le groupe d'indice 1 et la valeur par le groupe d'indice 3.

Quantificateurs non gloutons Lorsqu'ils sont utilisés pour capturer des groupes, le comportement par défaut des quantificateurs est de capturer autant de caractère que possible. Ce comportement peut être problématique

Par exemple, l'expression régulière `<(.*?)>` ne permet pas de capturer le nom de toutes les balises dans `"<html><head><title>Title</title>"` : le premier caractère de l'expression régulière sera mis en correspondance avec le chevron ouvrant du html et le `.*` consomme le reste de la chaîne jusqu'au chevron fermant du title.

Pour capturer le nom des différentes balises, la solution consiste à rendre les quantificateurs non gloutons en les faisant suivre du méta-caractère `?` de manière à ce qu'ils effectuent une correspondance aussi petite que possible. Le listing 19 illustre la différence entre quantificateurs gloutons et non gloutons. La sortie du programme est :

```

1 import java.io.IOException;
2 import java.util.regex.Matcher;
3 import java.util.regex.Pattern;
4
5 public class TestRegexp {
6
7     public static void main(String[] args) throws IOException {
8         Pattern pGreedy = Pattern.compile("<(.*?)>");
9         Pattern pNonGreedy = Pattern.compile("<(.*?)>");
10        String line = "<head><title>Title</title>";
11
12        System.out.println("Greedy");
13        System.out.println("-----");
14        Matcher mGreedy = pGreedy.matcher(line);
15        while (mGreedy.find()) {
16            System.out.println(mGreedy.group(1));
17        }
18
19        System.out.println("\nNon-Greedy");
20        System.out.println("-----");
21        Matcher mNonGreedy = pNonGreedy.matcher(line);
22        while (mNonGreedy.find()) {
23            System.out.println(mNonGreedy.group(1));
24        }
25    }
26
27 }

```

Listing 19 – Illustration de la différence entre quantificateurs gloutons et non gloutons.

```

Greedy
-----
head><title>Title</title>

```

```

Non-Greedy
-----
head
title
/title

```

Exemple Le listing ?? montre comment il est possible de définir une expression régulière identifiant les références dans un document $\text{\LaTeX}$ ²⁸. La définition de l'expression régulière appelle plusieurs commentaires :

- il est nécessaires d'*échapper* les méta-caractères `\`, `{` et `}` pour que ceux-ci soient interprète comme des caractères normaux;
- le quantificateur `*` est utilisé en mode glouton pour sans quoi, il capturerait l'ensemble des caractères compris entre la première accolade ouvrante et la dernière²⁹.

27 : Le numéro d'un groupe correspond au nombre de parenthèses ouvrantes que l'on a rencontré en parcourant la chaîne de gauche à droite.

28 : Les références sont indiquées par la commande $\text{\LaTeX}\backslash\text{ref}\{id\}$ où `id` est un identifiant composé des caractères « usuels ».

29 : En mot glouton, la capture s'arrête dès qu'une accolade ouvrante est rencontrée

La programmation orientée objet est un *paradigme*¹ de programmation qui offre une nouvelle manière d'analyser un problème et de concevoir le code pour le résoudre. Ce chapitre est organisé de la manière suivante : les deux premières sections exposeront les problèmes soulevés par les méthodes de développement classiques (c.-à-d. non-orientées objets) et les principes mis en œuvre par la programmation orientée objet pour y répondre. La section suivante présentera les éléments de syntaxe java utilisés pour définir de nouvelles classes. La section 3.4 expliquera comment ces éléments permettent de résoudre les problèmes identifiés au début du chapitre. La section 3.3 détaillera certains aspects particuliers de la syntaxe java relatifs à la définition des objets et des classes. Finalement dans les deux dernières sections de ce chapitre, nous aborderons la notion d'*héritage*.

1 : Les deux autres « grands » paradigmes de programmation sont la programmation impérative qui correspond, en première approximation, aux programmes vus jusqu'à présent et la programmation fonctionnelle que l'on retrouve dans des langages comme Haskell. De plus en plus de langages, comme Python et, dans une certaine mesure, java sont multi-paradigmes.

3.1 Pourquoi la programmation orientée objet ?

Tous les programmes vus et écrits jusqu'à présent étaient constitués de *fonctions* qu'il était possible de combiner pour réaliser un « traitement » et résoudre un problème donné. Ces fonctions sont un moyen de décrire (à l'aide des instructions qui la composent) et de nommer (par le nom de la fonction) une « méthode de calcul » (*computational process*). La définition d'une fonction augmente l'expressivité du langage en permettant de définir de nouvelles instructions et fournit ainsi un premier niveau d'*abstraction* en autorisant une programmation à un plus haut niveau conceptuel dans lequel le programmeur ou la programmeuse indique uniquement ce qu'elle fait (p. ex. calculer la racine carré d'un nombre ou chercher le plus grand éléments d'une liste) plutôt que comment elle le fait (en détaillant explicitement les instructions nécessaires pour réaliser ces deux actions).

La programmation orientée objet offre un second moyen d'améliorer l'expressivité d'un langage et d'atteindre un nouveau niveau d'abstraction en offrant la possibilité d'enrichir le langage par de nouveaux types de données et des outils garantissant que ces types sont utilisés correctement et limitant le risque d'erreur lors de la conception d'un programme.

Il est possible d'illustrer l'intérêt de la programmation orientée objet en considérant l'exemple d'un programme devant manipuler des nombres rationnels². Plusieurs manières de représenter un rationnel dans un programme sont imaginables : un rationnel étant composé de deux entiers, le numérateur et le dénominateur, il suffit de stocker ceux-ci soit dans deux variables distinctes soit dans une liste ou un tableau. Dans ce dernier cas³, l'addition entre deux rationnels est définie par :

```
1 public static int[] addRational(int[] r1, int[] r2) {
2     int[] res = new int[2];
3     res[0] = r1[0] * r2[1] + r2[0] * r1[1];
4     res[1] = r1[1] * r2[1];
}
```

2 : Un rationnel est, en mathématique, un nombre qui peut s'écrire comme le quotient entre deux entiers relatifs (une fraction dans le langage courant). Les nombres rationnels possèdent un ensemble de règle de calcul. Par exemple : $\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{axd+cx b}{bxc}$.

3 : Ce cas a été choisi car il est difficile, d'écrire une fonction additionnant deux rationnels lorsque ceux-ci sont représentés par deux variables distinctes dans la mesure où une fonction ne peut retourner qu'une seule valeur en java.

```

5
6 // simplification de la fraction
7 BigInteger b1 = BigInteger.valueOf(res[0]);
8 BigInteger b2 = BigInteger.valueOf(res[1]);
9 int gcd = b1.gcd(b2).intValue();
10
11 res[0] = res[0] / gcd;
12 res[1] = res[1] / gcd;
13
14 return res;
15 }

```

Ces deux représentations posent de nombreux problèmes et leur utilisation risque d'entraîner de nombreuses erreurs ou, au moins, de demander au programmeur ou à la programmeuse une attention particulière pour éviter celles-ci. Par exemple, dans la représentation par deux entiers, l'association entre le numérateur et le dénominateur n'étant pas explicite, la programmeuse ou le programmeur devra s'assurer en permanence de maintenir celle-ci et de toujours considérer le dénominateur correspondant au bon dénominateur lors de la manipulation d'un rationnel ; dans la représentation par une liste, elle devra se souvenir en permanence de la position (indice) du numérateur et du dénominateur. De plus, les rationnels étant décrits par des types standards de java, le compilateur n'a aucun moyen de vérifier que l'utilisation d'une variable est valide : il est, par exemple, possible d'appeler la fonction `addRational` avec n'importe quel tableau d'entiers et le compilateur ne peut pas garantir que lors de l'appel de cette fonction, l'argument est bien un tableau comportant deux éléments et que l'élément décrivant le dénominateur n'est pas nul.

Le risque de faire des erreurs de ce type (qui peut de premier abord paraître extrêmement faible) est exacerbé par le fait que le développement d'un logiciel fait aujourd'hui généralement intervenir plusieurs-es programmeurs-euses sur une longue période qui peut se compter en mois ou en années : s'il paraît évident pour la personne prenant cette décision que le dénominateur sera toujours stocké à l'indice 0, ce n'est pas nécessairement le cas pour un-e développeur-euse qui rejoindrait le projet en cours de route ou même pour la personne ayant pris la décision si celle-ci doit modifier son code plusieurs mois après l'avoir écrit. La programmation orientée objet a pour objectif de permettre au programmeur ou à la programmeuse de définir ses propres types afin que le compilateur puisse vérifier la validité des opérations et de limiter les erreurs de manipulation des données en fournissant des mécanismes de *protection de l'information*.

La représentation d'un rationnel par deux entiers ou par un tableau d'entiers présente un troisième inconvénient majeur : la *propagation des modifications*. Imaginons qu'il ait été décidé au début du projet que les rationnels seraient représentés par un tableau de deux entiers `int[]`. Tous les programmeur-euse-s peuvent alors commencer à travailler sur leur partie du programme et écrire le code dont ils ou elles sont responsables. Plusieurs mois plus tard, le programme est prêt et les premiers tests « réels » sont effectués. Il apparaît alors que dans de rares cas, qui n'avaient pas été détectés lors de la réflexion initiale, les

nombre manipulé sont tellement grands qu'ils ne peuvent pas être représentés par des `int`⁴. Il est alors nécessaire de modifier la manière dont les rationnels sont représentés, ce qui implique de changer tous les endroits du code où un rationnel est créé (pour changer le type de la variable stockant celui-ci) mais également la signature de toutes les fonctions utilisant un rationnel (il faut que les arguments des fonctions soient adaptés à la nouvelle définition) et bien souvent le code de celle-ci. En effet, comme la manière dont les données sont stockées est exposée (connue) les programmeurs-euses vont directement manipuler celles-ci et créer des *dépendances* entre le code qu'ils-elles écrivent et la représentation des données ; dès lors que cette dernière est modifiée, les changements devront être propagés à l'ensemble du code.

En résumé, la programmation orientée objet a trois objectifs principaux :

- permettre à la programmeuse ou au programmeur de définir de nouveaux types de sorte que le compilateur puisse vérifier la validité des opérations effectuées dans le programme ;
- assurer la cohérence et la protection des informations ;
- permettre l'évolution de la représentation des données (pour corriger une erreur ou ajouter une nouvelle fonctionnalité) sans que celle-ci nécessite de modifier tout le programme.

3.2 Encapsulation

La solution apportée par la programmation orientée objet aux problèmes décrits dans la section précédente repose sur la notion d'*encapsulation*⁵. L'encapsulation a pour objectif de *séparer* la manière dont un type est manipulé de la manière dont il est construit, généralement en combinant d'autres types. Cette approche correspond à un changement de point de vue fondamental : un type n'est plus défini par la manière dont il est représenté (p. ex. un rationnel par un tableau de deux entiers, un-e étudiant-e par un nom, un prénom, une adresse mail et la liste des cours qu'il ou elle suit), mais par les opérations qui peuvent être effectuées sur celui-ci (p. ex. envoyer un mail à l'étudiant-e, déterminer le nombre de cours qu'il ou elle a validé, ...).

L'ensemble des opérations qu'il est possible de réaliser sur un type est appelé *interface*. L'interface doit être distinguée de *implémentation* de celle-ci, qui désigne le code permettant de réaliser ces opérations. L'interface peut être vue comme une spécification ou un contrat passé entre la personne utilisant un type et la personne concevant celui-ci détaillant les services fournis par le type et son comportement. Comme illustré à la figure 3.1, un langage orienté objet permet de garantir que seule l'interface est *visible* et que les détails de l'implémentation restent *cachés* : un-e programmeur-euse utilisant un nouveau type ne manipulera alors que l'interface de celui-ci et n'aura accès ni aux données ni à la manière dont elles sont stockées.

Distinguer l'interface de l'implémentation offre plusieurs avantages : cette séparation permet notamment à un-e programmeur-euse souhaitant utiliser un type de s'abstraire de détails de fonctionnement de celui-ci. Il en sera plus nécessaire pour utiliser un type de comprendre

4 : Il y a en java trois types de données permettant de représenter les entiers : `short` qui permet de représenter les entiers entre $[-2^{15}, 2^{15} + 1]$, `int` entre $[-2^{31}, 2^{31} + 1]$ et `long` entre $[-2^{63}, 2^{63} + 1]$. Les `int` couvrent la quasi totalité des cas courant.

5 : Il est tout à fait possible de mettre en œuvre l'encapsulation dans des langages non orientés objets. L'intérêt des langages orientés objets est de fournir une syntaxe permettant au compilateur de vérifier que les principes de l'encapsulation sont bien respectés.

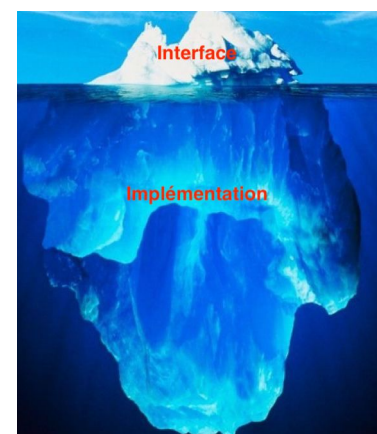


FIGURE 3.1 – Illustration du principe de l'encapsulation : l'interface et implémentation sont séparées et seule l'interface est visible.

la manière dont les données sont stockées ou comment fonctionnent certaines fonctions, mais uniquement de maîtriser l'interface de celui-ci : comme pour la définition de fonctions, limiter l'accès à l'interface accroît la lisibilité du code et permet une programmation de plus haut niveau.

De plus comme le·a programmeur·euse n'aura pas accès directement aux données, mais uniquement à des méthodes permettant de manipuler celle-ci, la cohérence des données sera plus facile à assurer : il suffit de s'assurer que les méthodes respectent bien la définition des données pour garantir que celles-ci seront correctement utilisées dans l'ensemble du programme. Par exemple, dans la définition d'un type représentant un·e étudiant·e, il sera possible de garantir que le nom sera toujours stocké en majuscule (puisque'il sera impossible d'accéder directement à celui-ci et donc de changer sans casse), ce qui facilitera la recherche (plus besoin de prendre en compte la casse dans la comparaison) ou permettra d'uniformiser facilement la présentation.

L'encapsulation permet également d'éviter la propagation des modifications : un·e programmeur·euse ne pouvant plus accéder à l'implémentation d'un type mais uniquement à l'interface de celui-ci, le code qu'il ou elle écrira ne dépendra que de l'interface. Il est donc possible de faire autant de modifications que souhaitées à l'implémentation sans avoir d'impact sur le reste du code tant que l'interface du type n'est pas modifiée.

En programmation orientée objet, l'encapsulation est mise en œuvre grâce à la notion de classe : un nouveau type sera définie par l'écriture d'une classe le représentant et qui permettra de regrouper dans une même unité (de manière pratique, dans un même fichier) la représentation des données, la définition de l'interface et l'implémentation de celle-ci. Les langages orientés objet offrent différentes constructions permettant de garantir la séparation de l'interface et de l'implémentation ainsi que la protection des données qui seront détaillés dans la section suivante.

3.3 Définition d'une classe en java

Java peut être étendu en définissant de nouveaux de types à l'aide de classes. Même si leurs syntaxes est très proche, les classes définissant de nouveaux types doivent être distinguées des classes définissant des unités de compilation comme toutes celles vues jusqu'à présent.

Pour illustrer les différents éléments de la syntaxe java permettant de définir un nouveau type, nous allons considérer deux exemples : la définition d'un type définissant une paire d'entiers et d'un type décrivant un·e étudiant·e. L'interface du premier type comportera trois opérations :

- une méthode pour ajouter un entier aux deux composantes de la paire (c.-à-d. obtenir la paire $\langle a + \delta, b + \delta \rangle$ à partir de la paire $\langle a, b \rangle$);
- une méthode pour savoir si une paire est plus grande ou égale à une autre (suivant les conventions python la paire $\langle a, b \rangle$ est plus grande que la paire $\langle c, d \rangle$ si, et seulement si $a > c$ ou $a = c \wedge b \geq d$);

- une méthode testant l'égalité de deux paires;
- une méthode représentant une paire sous forme d'une chaîne de caractère (par exemple pour afficher celle-ci à l'aide de la méthode `System.out.println`).

L'interface du type représentant un·e étudiant·e permettra de lui envoyer un mail et de vérifier si celui-ci ou celle-ci a validé son année.

Déclaration de classe La première étape pour définir une classe consiste à déclarer celle-ci en spécifiant dans un fichier :

```
1 public class IntPair {
2 }
```

Comme d'habitude, une classe doit être définie dans un fichier portant le même nom que la classe (dans ce cas : `IntPair.java`).

La déclaration d'une classe est suffisante pour définir un nouveau type dont le nom sera le nom de la classe : dès que la classe est déclarée (c.-à-d. dès qu'un fichier comportant le code précédent est créé), il est possible de définir, dans toutes les autres classes du projet, des variables de type `IntPair` (ou `Etudiant`) à l'aide de la syntaxe habituelle : `IntPair p`. Il est également possible de définir des fonctions prenant en argument des variables de ce type : une fonction permettant d'envoyer un mail à une liste d'étudiants aura, par exemple, pour signature :

```
1 public static void sendMail(ArrayList<Etudiant> lst)
```

Définition des attributs Les classes ainsi définies sont des coquilles vides ne permettant ni de stocker des informations, ni de définir des opérations sur celles-ci. La deuxième étape dans la définition d'une classe consiste à définir les *attributs* de celle-ci. Les attributs sont des variables attachées à une instance de la classe et permettant de stocker toutes les informations nécessaires pour décrire une variable de ce type. Par exemple, pour une variable de type `IntPair` il sera nécessaire de représenter et de stocker les deux entiers constituant la paire; pour une variable de type `Etudiant`, il faudra stocker le nom, le prénom, l'adresse mail de l'étudiant·e ainsi que la liste des cours qu'elle ou il suit. Il s'agit là, bien entendu, d'une modélisation simplifiée : il est, en pratique, possible de définir autant d'attributs que nécessaire au bon fonctionnement du programme (p. ex. le numéro d'étudiant, la première année d'inscription à l'Université, l'adresse postale, ...).

Les attributs d'une classe sont déclarés au début de la classe, directement après la déclaration de celle-ci en spécifiant trois éléments : le nom de l'attribut, son type et son *mode d'accès*. Par exemple pour la classe `IntPair` :

```
1 public class IntPair {
2     private int first;
3     private int second;
4 }
```

Ce code permet de définir un type `IntPair` pouvant stocker deux entiers appelés `first` et `second`. Le mode d'accès, dans ce cas **private** indique que les attributs ne sont ni visibles ni accessibles à l'extérieur de la classe : il est impossible d'écrire du code lisant ou modifiant la valeur de l'attribut si ce code n'est pas situé dans la définition de la classe

Par exemple, le fragment de code suivant :

```

1  public class PairTest {
2      public static void main(String[] s) {
3          IntPair p = new IntPair(2, 3);
4          // accès en lecture à un attribut
5          System.out.println(p.first);
6          // accès en écriture : affecte une valeur
7          // arbitraire à un attribut
8          p.first = 7;
9      }
10 }
```

génèrera deux erreurs de compilation :

```
PairTest.java:4: error: x has private access in IntPair
    System.out.println(p.first);
                        ^
```

```
PairTest.java:5: error: x has private access in IntPair
    p.first = 5;
    ^
```

2 errors

Le compilateur interdit aussi bien de fixer la valeur d'un attribut (avec l'instruction `p.first = 7`) que d'accéder à sa valeur pour l'afficher, ces deux instructions n'étant pas dans le code de la classe `IntPair`. De manière général, les attributs ont toujours **private** comme mode d'accès : comme expliqué à la section 3.4, ce choix permet de garantir l'encapsulation des données.

Pour la classe `Etudiant`, en supposant qu'il existe une classe `Lecture` et une classe `Email` décrivant, respectivement, un cours et une adresse mail, la définition des attributs pourra être :

```

1  public class Etudiant {
2      private String firstName;
3      private String lastName;
4      private Email mail;
5      private ArrayList<Lecture> lectures;
6  }
```

Comme l'illustre cet exemple, les attributs peuvent être de n'importe quel type, y compris être des instances d'autres classes définies dans le programme.

Constructeur Les constructeurs constituent le 3^e élément d'une classe. Ils permettent de spécifier la manière dont les différents attributs d'une classe doivent être initialisés. La définition d'un constructeur est nécessaire puisque le mode d'accès des attributs (**private** comme expliqué dans le paragraphe précédent) interdisent à la programmeur ou à la programmeuse de fixer leur valeur directement.

Les constructeurs sont des méthodes pouvant avoir un nombre de paramètres arbitraires et ayant exactement le même nom que la classe⁶ et n'ayant pas de type de retour. Comme toutes les méthodes ils sont précédés d'un mode d'accès (en général **public**). Il est possible de définir plusieurs constructeurs si ceux-ci ont des paramètres dont les types différent.

Un premier constructeur de la classe `IntPair` est⁷ :

```
1 public IntPair(int x, int y) {
2     this.first = x;
3     this.second = y;
4 }
```

6 : C'est le seul cas où un nom de fonction peut commencer par une majuscule dans les conventions java.

7 : La définition du constructeur se place généralement juste après la définition des attributs dans le bloc correspondant à la définition de la classe

Ce constructeur permet à un-e utilisateur-ric(e) de la classe de créer une paire d'entiers en spécifiant la valeur de ceux-ci :

```
1 IntPair p = new Pair(2, 3);
```

Le mot-clé **new** permet d'appeler le constructeur comme une méthode « normale ». Ce constructeur initialise la valeur des attributs en « copiant » les valeurs passées en paramètre. Un constructeur doit toujours initialiser tous les attributs d'une classe soit en leur donnant une valeur fixée par la personne créant l'instance, soit en leur donnant une valeur par défaut. La définition du constructeur montre que les attributs peuvent être manipulés comme n'importe quelle variable. Il est courant (c.-à-d. obligatoire pour la programmeuse ou le programmeur souhaitant rendre son code lisible) d'utiliser la syntaxe **this.attrib** pour distinguer l'accès à un attribut de l'accès à une variable locale. Une manière plus courante de définir ce constructeur est d'ailleurs :

```
1 public IntPair(int first, int second) {
2     this.first = first;
3     this.second = second;
4 }
```

Ce constructeur initialise l'attribut désigné par **this.first** à partir de la valeur de la variable locale `first`⁸ : même s'ils ont des noms très proches, `first` et **this.first** correspondent bien à deux éléments distincts du programme.

8 : Les paramètres d'une fonction sont des variables locales dont la valeur est fixée lors de l'appel.

Comme indiqué précédemment, il est tout à fait possible de définir plusieurs constructeurs dans une classe. Un deuxième constructeur de la classe `IntPair` est :

```
1 public IntPair(IntPair other) {
2     this.first = other.first;
```

```

3   this.second = other.second;
4   }

```

Ce constructeur, appelé *constructeur de copie* initialise une nouvelle instance de `IntPair` en copiant la valeur des attributs d'une instance existante. Ce constructeur illustre la possibilité d'accéder aux attributs d'une autre instance d'une classe mais uniquement dans la définition de celle-ci.

Un constructeur possible pour la classe `Etudiant` est :

```

1   public Etudiant(String nom, String prenom, Email mail) {
2       this.lastName = nom;
3       this.firstName = prenom;
4       this.mail = mail;
5       this.lectures = new ArrayList<>();
6   }

```

L'objectif d'un constructeur est d'initialiser tous les attributs, ce qui signifie d'attribuer une valeur à toutes les valeurs de type primitif et d'assurer qu'il y ait bien eu une instantiation (un appel au constructeur) pour toutes les variables de type complexe.

L'exemple précédant illustre les deux différents types d'initialisation possible :

- soit à partir d'une valeur spécifiée par l'utilisateur·rice ;
- soit à une valeur « par défaut ».

Dans le cas de la classe `Etudiant` la valeur de tous les attributs, excepté `lectures`, devra être spécifiée par l'utilisateur·rice (il y n'y a aucun moyen de connaître leurs valeurs autrement qu'en demandant à la personne créant l'instance). Le dernier attribut sera initialisé à une valeur par défaut, ici une liste vide. Si l'ajout des cours peut être fait par une ou plusieurs autres méthodes de la classe, il est nécessaire que l'initialisation soit faite dans le constructeur afin que chaque méthode n'ait pas à vérifier que le constructeur de la classe `ArrayList` ait bien été appelé et le fasse le cas échéant.

Méthodes Les méthodes sont le dernier élément de la définition d'une classe. Elles permettent de définir les opérations qu'il est possible de réaliser sur les instances de la classe. Les méthodes sont définies comme une fonction (cf. §8) sauf que leur déclaration ne contient pas le mot clé **static** :

```

public  boolean  greaterOrEqual  (  Pair  other  )
  ↑           ↙           ↑           ↑
définition  type de retour nom paramètres

```

Le mode d'accès des méthodes peut être soit **private** soit **public**. Une méthode publique est visible (c.-à-d. peut être appelée) dans n'importe quelle classe du projet, alors qu'une méthode privée ne peut être appelée que dans le code de la classe. Les méthodes privées sont utilisées pour améliorer la lisibilité du code.

Il est possible de définir autant de méthodes nécessaires pour implémenter toutes les opérations associées au type. En pratique, l'interface d'un type est généralement définie par l'ensemble des méthodes publiques de la classe.

Il est possible, dans le code d'une méthode, d'utiliser toutes les instructions java et d'accéder aux attributs comme le montre l'exemple de la méthode `toString` :

```
1 public String toString() {
2     return "<" + this.first + ", " + this.second + ">";
3 }
```

La définition de cette méthode est nécessaire pour afficher les valeurs des attributs, ceux-ci n'étant pas directement accessibles. Une fois le code de cette méthode ajoutée à la classe, il est possible de l'appeler à l'aide de la syntaxe habituelle :

```
1 IntPair p1 = new IntPair(1, 98);
2 IntPair p2 = new IntPair(12, 2);
3 System.out.println(p2.toString());
```

Même si cette méthode n'a pas d'arguments, elle est *attachée* à une instance particulière (ici `p`) et ce sont les attributs de cette instance qui seront utilisés pour produire le résultat : `<12, 2>`.

Il est possible de définir des méthodes avec des paramètres, comme la méthode `inc` :

```
1 public void inc(int howMuch) {
2     this.first += howMuch;
3     this.second += howMuch;
4 }
```

Cette méthode sera appelée de la manière suivante :

```
1 IntPair p1 = new IntPair(1, 98);
2 IntPair p2 = new IntPair(12, 2);
3 p1.inc(1);
```

Après l'exécution de ces lignes, la référence `p1` désignera la paire `<2, 99>`. La méthode `inc` peut modifier sans problèmes les attributs puisque celle-ci est également défini dans la classe.

Cette méthode peut également être définie de la manière suivante :

```
1 public IntPair inc(int howMuch) {
2     return new IntPair(this.first + howMuch,
3                         this.second + howMuch);
4 }
```

Cette implémentation crée une nouvelle paire dont les éléments correspondent au résultat de l'opération. Pour incrémenter une référence donnée, il faut désormais utiliser le code :

```
1 p1 = p1.inc(1);
```

Cette définition de la méthode `inc` permet de ne pas modifier les valeurs des attributs. Une classe dont les attributs ne sont jamais modifiés après la création de celle-ci (c'est-à-dire qu'aucune des méthodes de la classe ne modifie les attributs) est qualifiée de *immuable* (*immutable* en anglais) et *variable* (*mutable* en anglais) dans le cas contraire. Utiliser des objets immuables permet d'améliorer la lisibilité du code et les performances de celui-ci. Ils peuvent également être utilisés sans problème dans des programmes *multi-threadés*. De manière générale toutes les classes doivent être immuables sauf s'il y a une bonne raison de modifier la valeur des attributs.

Une méthode peut prendre en argument une autre instance de la classe, comme pour le cas de la méthode `greaterOrEqual` :

```

1  public boolean greaterOrEqual(IntPair other) {
2      if (this.first == other.first) {
3          return this.second >= other.second;
4      }
5      return this.first > other.first;
6  }
```

L'appel de cette méthode mettra en jeu deux références, comme montré dans l'exemple ci-dessous :

```

1  IntPair p1 = new IntPair(1, 98);
2  IntPair p2 = new IntPair(12, 2);
3  p1.inc(p2);
```

Dans le code de la méthode, la référence `p2` sera désignée par la variable `other` et la référence `p1` par `this`. Cette méthode n'étant pas symétrique, il faut faire attention à la manière dont elle est appelée : l'appel `p1.greaterOrEqual(p2)` ne donnera pas le même résultat que l'appel `p2.greaterOrEqual(p1)` et les deux références ne jouent pas le même rôle dans le code de la fonction. En pratique, une méthode est toujours *attachée* à la référence dont le nom précède le point lors de l'appel (`ref.methode(...)`) et accède aux attributs décrivant cette référence avec la syntaxe `this.attr`; d'autres références peuvent être passées en paramètres et, dans ce cas, la méthode peut accéder aux attributs décrivant cette référence avec la syntaxe `nomParametre.attr`.

Le listing 21 donne le code complet de la classe `IntPair`.

Différences entre les deux types de classes Il est possible de définir en java deux types de classes différentes :

- des classes comme `IntPair` qui définissent des types;
- des classes « unité de compilation »..

Le listing 21 illustre les principales différences entre ces deux types de classes : les classes décrivant des types ne contiennent ni méthode `main`, ni méthode `static` mais définissent des attributs et des constructeurs.

```

1 public class IntPair {
2
3     private int first;
4     private int second;
5
6     public IntPair(int first, int second) {
7         this.first = first;
8         this.second = second;
9     }
10
11     public IntPair(IntPair p) {
12         this.first = p.first;
13         this.second = p.second;
14     }
15
16     public boolean greaterOrEqual(IntPair other) {
17         if (this.first == other.first) {
18             return this.second >= other.second;
19         }
20         return this.first > other.first;
21     }
22
23     public boolean equal(IntPair other) {
24         return this.first == other.first && this.second == other.second;
25     }
26
27     public String toString() {
28         return "<" + this.first + ", " + this.second + ">";
29     }
30
31 }

```

Listing 21 – Le code source complet de la classe IntPair

Exercice 3.3.1

Écrire une classe Vector permettant de manipuler des vecteurs de $\mathbb{R}^3$. Les composantes du vecteur seront représentées par des double. L'interface de cette classe comporte :

- un constructeur à trois arguments;
- un constructeur permettant de créer un vecteur nul;
- d'une méthode retournant une représentation du vecteur sous forme d'une chaîne de caractères de la forme : <composante n°1, composante n°2, composante n°3>;
- d'une méthode fournissant la norme du vecteur;
- d'une méthode renvoyant une nouvelle instance représentant la somme de deux vecteurs
- d'une méthode renvoyant le produit scalaire de deux vecteurs.

Le code suivant permettra de tester le code développé :

```

1 public class TestVector {
2
3     public static void main(String[] s) {
4         Vector v1 = new Vector(1, 2, 3);
5         Vector v2 = new Vector(3, 4, 5);

```

```

6     Vector v3 = v1.add(v2);
7
8     System.out.println(v3.toString());
9     System.out.println(v1.dot(v2));
10    System.out.println(v1.norm());
11  }
12 }

```

3.4 Mode d'accès et encapsulation

Les classes java regroupent dans une même unité syntaxique les variables décrivant un type complexe et les méthodes manipulant celles-ci en interdisant tout accès (en lecture ou en écriture) à ces variables. Cette interdiction est vérifiable par le compilateur qui générera une erreur de compilation dès qu'elle n'est pas respectée. C'est cette interdiction qui va permettre de mettre en œuvre les principes de l'encapsulation.

Ainsi, l'initialisation se faisant toujours par l'intermédiaire d'un constructeur, il est possible de garantir que les objets soient toujours dans un état « cohérent ». Le constructeur de la classe `Etudiant` peut, par exemple, être modifié pour garantir que :

- le nom est toujours en majuscule ;
- le prénom est toujours en minuscule sauf la première lettre ;
- l'adresse mail est bien une adresse mail valable⁹.

Le constructeur modifié sera :

```

1  public Etudiant(String nom, String prenom, Email email) {
2      this.nom = nom.toUpperCase();
3      this.prenom = prenom.substring(0, 1).toUpperCase()
4                      + prenom.substring(1).toLowerCase();
5      String pattern = "[a-zA-Z0-9_+-.]+@[a-zA-Z0-9-]+\\.[a-zA-Z0-9-\\.]+";
6      Matcher m = Pattern.compile(pattern).matcher(s);
7      if (!m.matches()) {
8          throw new RuntimeException("Invalid Email");
9      }
10     this.email = email;
11 }

```

9 : Par soucis de clarté, une expression régulière simplifiée a été utilisée pour vérifier la validité d'une adresse mail. Une version plus réaliste est décrite [ici](#)

Comme les attributs de la classe sont déclarés en **private**, seules les méthodes de la classe pourront les modifier et il est possible de supposer que ces contraintes sont toujours respectées et d'utiliser celles-ci pour simplifier l'implémentation de la classe.

L'interdiction de la modification des attributs limite également la propagation des modifications. Si les spécifications de la classe `IntPair` sont modifiées et qu'il faut désormais supprimer la comparaison entre paires et considérer que les paires $\langle 1, 2 \rangle$ et $\langle 2, 1 \rangle$ sont égales (c.-à-d. ne plus tenir compte de l'ordre des éléments dans le test d'égalité des paires), il suffit de :

- supprimer la méthode `greaterOrEqual` de la définition de la classe ;
- modifier la méthode `equals` de la manière suivante :

```

1 public boolean equals(Pair p) {
2     return (this.first == p.first && this.second == p.second) ||
3         (this.first == p.second && this.second == p.first);
4 }

```

La première modification aura un impact sur l'ensemble du code puisqu'elle modifie l'interface de la classe. La seconde sera par contre transparente pour les utilisateurs-rices de la classe. Mieux encore : dans la mesure où il n'est pas possible d'accéder directement aux attributs pour comparer leurs valeurs, la seule manière pour un-e programmeur-euse de tester l'égalité de deux paires est d'utiliser la méthode `equals`. L'encapsulation permet donc de garantir que l'ensemble du code du programme utilise bien la nouvelle définition de l'égalité.

L'encapsulation permet également de simplifier l'implémentation de la nouvelle définition de l'égalité : dans la mesure où les attributs ne sont accessibles que dans la définition de la classe, le-a programmeur-euse est libre de choisir de la définition des attributs la plus adaptée aux besoins du code. Il ou elle peut par exemple choisir de toujours stocker la plus petite valeur dans l'attribut `first` en modifiant le constructeur de la manière suivante :

```

1 public IntPair(int x, int y) {
2     if (x < y) {
3         this.first = x;
4         this.second = y;
5     } else {
6         this.first = y;
7         this.second = x;
8     }
9 }

```

Comme les attributs ne peuvent plus être modifiés (ou alors uniquement par des méthodes de la classe pour lesquels il est facile de vérifier que la contrainte d'ordre est respectée), il est possible d'utiliser cette nouvelle contrainte pour simplifier l'implémentation de la méthode `equals` :

```

1 public boolean equals(Pair p) {
2     return this.first == p.first && this.second == p.second;
3 }

```

Si l'intérêt de la simplification est faible dans le cas des paires, il devient non négligeable dans le cas des triplets puisqu'il n'y aura pas besoin de tester les 6 permutations possibles de celui-ci.

3.5 Interfaces

Motivation Un langage orienté objet permet au programmeur ou à la programmeuse de définir facilement de nouveau type pour augmenter l'expressivité du langage tout en limitant les problèmes de propagation des modifications et ceux liés à la cohérences des données. La définition

de nouveaux types peut toutefois soulever des difficultés lorsque deux entités « proches » sont représentées par des types distincts dans le programme.

Ainsi deux modélisations d'une phrase sont possibles. Une première modélisation ne met en jeu qu'une seule classe `Word` pouvant posséder, par exemple, une méthode `getPronunciation` qui renvoie la prononciation du mot (en alphabet phonétique internationale), une méthode `corrected` renvoyant la forme corrigée du token (cette méthode renverra, par exemple, `hippopotame` si le mot est `hipopotame`) et une méthode `toPlural` renvoyant le pluriel du mots. Dans une seconde modélisation, chaque catégorie morpho-syntaxique est modélisée par une classe et il y a une classe `Noun`, une classe `Verb`, une classe `Preposition`, ...

Si la seconde méthode peu sembler plus complexe de premier abord, distinguer une classe par catégorie morpho-syntaxique permet de définir des méthodes spécifiques à chaque catégorie morpho-syntaxique : il est, par exemple, possible de définir une méthode `isPresent` dans la classe `Verb` qui n'aurait aucun sens pour un nom ou une préposition. Ajouter cette méthode à la classe `Word` nécessite de gérer tous les cas où la méthode est appelée dans un contexte dans lequel elle n'a pas de sens (c.-à-d. lorsque le mot représenté n'est pas un verbe). La distinction des classes permet donc, *in fine*, d'obtenir une modélisation plus fine et, par conséquent, un code plus simple, mais soulève, en contrepartie, plusieurs problèmes : même si les instances de `Verb` et les instances de `Noun` représentent toutes les deux des mots et ont donc certains comportement communs (ces instances peuvent, par exemple, être combinées pour former des phrases), elles seront de types différents et ne pourront donc pas toujours être utilisées dans le même contexte.

Ainsi il ne sera pas possible de définir d'ajouter une instance `Noun` et une instance de `Verb` à une même liste et il faudra définir une méthode pour chaque catégorie morpho-syntaxique même si le corps de la méthode est exactement le même, une méthode ayant un paramètre de type `Noun` ne pouvant être appelée avec une instance de `Verb` en paramètre. Pour résoudre ce type de problème, la programmation orientée objet définit la notion d'interface¹⁰.

10 : Suivant les langages, la notion introduite dans cette section est appelée soit interface, soit classe virtuelle pure

Élément de syntaxe Une interface permet de définir un nouveau type et de formaliser la notion, introduite dans la section 3.2, de contrat entre le-la programmeur-euse de la classe et la personne utilisant celle-ci en listant l'ensemble des opérations qu'il est possible d'effectuer sur ce type sans préciser la dont celles-ci fonctionnent : en première approximation, une interface est simplement une énumération de signature de méthode. Le listing 22 donne un exemple d'une interface décrivant les opérations qu'il est possible d'effectuer sur un mot (cf. la description donnée dans le paragraphe précédent).

Il n'est pas possible de créer directement une instance dont le type est défini par une interface : une instruction du type :

```
Word w = new Word();
```

entraînera une erreur de compilation :


```

1 public interface Word {
2
3     // retourne une chaine de caractères décrivant
4     // la prononciation du mot (en IPA)
5     public String getPronunciation();
6     // retourne le mot orthographié correctement
7     public String corrected();
8
9 }

```

Listing 22 – Interface décrivant le comportement d'un mot.

```

> javac Verb.java
Verb.java:1: error: Verb is not abstract and does not override
abstract method corrected() in Word
public class Verb implements Word {
      ^
1 error

```

FIGURE 3.2 – Erreur générée lorsqu'une des méthodes de l'interface n'est pas définie (ici la méthode `corrected`).

```

> javac Test.java
Test.java:4: error: Word is abstract; cannot be instantiated
    Word w = new Word();
              ^
1 error

```

En effet, l'interface ne spécifiant que le contrat (ce que fait le type) et non pas l'implémentation¹¹ (comment il le fait), la machine virtuelle ne saura pas quelles instructions exécutées pour réaliser une opération donnée.

11 : Une interface ne comporte ni attribut, ni constructeur ni aucune instruction « exécutable ».

Cette interface doit ensuite être implémentée par une (ou plusieurs classe). Ces classes sont qualifiées de *classes concrètes* par opposition aux interfaces pour indiquer qu'elles comportent l'implémentation des méthodes et pas uniquement leur déclaration. Comme le montre le listing 23, une classe doit faire deux choses pour implémenter une interface :

- signifier au compilateur qu'elle implémente l'interface en ajoutant à sa définition le mot-clé **implements** suivi du nom de l'interface implémentée ;
- définir l'ensemble des méthodes (c.-à-d. donner leur code) définies dans l'interface. Ces méthodes doivent être précédées de l'annotation **@Override**.

Une classe qui implémente l'interface doit définir l'ensemble des méthodes en respectant exactement la signature de celles-ci (même nombre et type de paramètres). Si ce n'est pas le cas, le compilateur générera une erreur de compilation, comme celle montrée dans le figure 3.2.

Il est possible de définir tous les attributs, constructeurs et autres méthodes nécessaires à la réalisation de la classe (l'interface n'impose une contrainte que sur les méthodes dont la signature est définie dans l'interface). Ainsi, dans le listing 23, une méthode spécifique aux verbes ont été ajoutée.

Une instance d'une classe implémentant une interface a deux types : le type de la classe et le type de l'interface. Les deux instructions suivantes seront donc parfaitement valables :

```

1 public class Verb implements Word {
2
3     private String token;
4
5     public Verb(String token) {
6         this.token = token;
7     }
8
9     @Override
10    public String getPronunciation() {
11        // ...
12        return "";
13    }
14
15    @Override
16    public String corrected() {
17        // ...
18        return "";
19    }
20
21    public boolean isFuture() {
22        return true;
23    }
24
25 }

```

Listing 23 – Une implémentation de l'interface Word.

```

1 Verb va = new Verb();
2 Word v2 = new Verb();

```

Ainsi, suivant le contexte, une instance de la classe Verb pourra être utilisée comme argument d'une fonction prenant un paramètre de type Verb mais également d'une fonction prenant un argument de type Word; de la même manière une liste de type ArrayList<Word> pourra stocker aussi bien des instances de Verb que des instances de Noun (si cette dernière classe implémente bien l'interface Word). Cette capacité qu'une référence puisse être attachée à des objets de différents types est appelée *polymorphisme*.

Il faut toutefois faire attention : lorsqu'une variable est déclarée avoir pour type le type d'une interface, seules les opérations définies par cette dernière pourront lui être appliquée : la fonction suivante qui cherche à vérifier si une phrase (représentée par une liste de Word) est au future :

```

1 public boolean isSentenceFuture(ArrayList<Word> sentence) {
2     for (Word w : sentence) {
3         if (w.isFuture()) {
4             return true;
5         }
6     }
7     return false;
8 }

```

entraînera une erreur de compilation :

```
> javac Test.java
Test.java:7: error: cannot find symbol
    if (w.isFuture()) {
        ^
    symbol:   method isFuture()
    location: variable w of type Word
1 error
```

En effet, dans le contexte de la fonction `isSentenceFuture`, les références stockées dans la liste seront considérées uniquement comme des variables de type `Word` quelque soit la classe concrète utilisée pour les instancier. Seules les méthodes de l'interface pourront être utilisées. Il est toutefois possible de *convertir* (*cast*) la référence pour pouvoir utiliser les méthodes spécifiques à la classe concrète. La version correcte de la fonction `isSentenceFuture` est :

Le terme correct en français est la *coercition de type* ou le *transtypage*.

```
1 public boolean isSentenceFuture(ArrayList<Word> sentence) {
2     for (Word w : sentence) {
3
4         if (!w instanceof Verb) {
5             continue;
6         }
7
8         Verb v = (Verb) w; //
9         if (v.isFuture()) {
10             return true;
11         }
12     }
13     return false;
14 }
```

Le transtypage à proprement parlé a lieu à la ligne 8. Celui-ci n'est possible que si l'instance décrite représente bien un verbe c'est-à-dire si c'est bien une instance de la classe `Verb`. Dans le cas contraire, la machine virtuelle lèvera une exception `ClassCastException`. Il est possible de vérifier que cette condition à l'aide du mot-clé `instanceof` et d'effectuer le transtypage uniquement lorsque celui-ci est possible. Une fois la conversion effectuée et une variable de type `Verb` définie, il est possible d'utiliser les méthodes spécifiques à cette classe sur celle-ci.

Interfaces de la bibliothèque standard Java La bibliothèque standard java définit plusieurs interfaces permettant d'intégrer les classes définies par un-e utilisateur-riche avec des constructions du langage (p. ex. les aboucles de type `foreach`) ou certaines fonctionnalités de la bibliothèque standard.

Par exemple, l'interface `Serializable` permet d'indiquer que les instances d'une classe peuvent être sauvegardées dans un fichier. Cette interface ne définit aucune méthode et a pour seul objectif d'indiquer à la machine virtuelle que les opérations nécessaires à la sauvegarde

La *sérialisation* est l'opération qui consiste à transformer une instance en une séquence d'octets. Celle-ci peut ensuite être stockée dans un fichier, une base de données ou être envoyée à travers un réseau. Elle est ensuite *désérialisée* pour « recréer » l'objet.

d'une instance sont possibles. Un exemple d'utilisation de cette interface est donné dans le listing 24 : si la classe `Person` n'était pas définie comme implémentant l'interface `Serializable`, la machine virtuelle leverait une exception `NotSerializableException` lors de l'exécution du programme d'exemple.

```

1  import java.io.Serializable;
2
3  public class Person implements Serializable {
4
5      String firstName;
6      String lastName;
7
8      public Person(String firstName, String lastName) {
9          this.firstName = firstName;
10         this.lastName = lastName;
11     }
12
13     public boolean isSame(Person other) {
14         return this.firstName.equals(other.firstName) &&
15                this.lastName.equals(this.lastName);
16     }
17
18 }

```

Listing 24 – Définition d’une classe pouvant être sérialisée et sérialisation de celle-ci.

```

1  import java.io.FileOutputStream;
2  import java.io.FileInputStream;
3  import java.io.ObjectInputStream;
4  import java.io.ObjectOutputStream;
5  import java.io.IOException;
6
7  public class ExSerialization {
8
9      public static void main(String[] args)
10         throws IOException, ClassNotFoundException {
11
12         Person p1 = new Person("Chimamanda",
13                                "Ngozi Adichie");
14         Person p2 = new Person("Patsauq",
15                                "Markoosie");
16
17         ObjectOutputStream ostream =
18             new ObjectOutputStream(new FileOutputStream("ex.pkl"));
19         ostream.writeObject(p1);
20
21         ObjectInputStream istream =
22             new ObjectInputStream(new FileInputStream("ex.pkl"));
23         Person p3 = (Person) istream.readObject();
24
25         System.out.println(p1.isSame(p3));
26         System.out.println(p2.isSame(p3));
27     }
28 }

```

3.6 Héritage

La notion d'interface, introduite dans la section précédente, permet d'indiquer au compilateur et à la programmeuse ou au programmeur que deux classes ont un comportement (au moins en partie) commun. Il n'est toutefois pas possible de « partager » de code entre ces classes, même si celui-ci est, en toute logique (dans l'exemple de la section précédente, il serait surprenant que la construction de la prononciation dépende de la catégorie morpho-syntaxique), identique ou du moins similaire. La notion d'héritage, troisième pilier de la programmation orientée objet (avec l'encapsulation et le polymorphisme), pallie ce problème. L'héritage limite les répétitions dans le code des classes en *factorisant* les parties identiques du code tout en offrant des mécanismes pour adapter celui-ci aux besoins spécifiques d'une classe.

Ainsi, un programme gérant le système d'alerte d'une usine chargé de surveiller une chaîne de production, devra gérer des alertes pour signaler les éventuels problèmes. Chaque alerte est décrite par l'heure à laquelle elle a été déclenchée et sa cause (un « message » d'erreur modélisé par une chaîne de caractères) et pourra mettre en œuvre deux opérations : son archivage (*log*) et son traitement (*handle*). En plus de ces caractéristiques communes, une alerte est associée à un niveau de gravité et va avoir un comportement différent selon celui-ci : les alertes dont la gravité est basse vont avoir un comportement en tout point identique à celui déjà décrit ; les alertes de gravité moyenne doivent être prises en charge par un technicien ; finalement pour les alertes de priorité haute, il faut prévenir un ingénieur et déclencher une alarme si le problème signalé par l'alerte n'est pas résolu après un certain délai.

La modélisation de ce problème fera naturellement intervenir trois classes : `LowAlert`, `MediumAlert` et `HighAlert`. Comme le montre la figure 3.3, les implémentations de ces trois classes définissent des attributs et des méthodes communes et il n'est pas difficile de se convaincre qu'une grande partie du code de ces trois classes sera identique : la méthode `log`, les attributs `cause`, `timeOfArrival` et la partie du constructeur chargée de les initialiser seront communs aux trois classes. Il y aura cependant des méthodes et des attributs spécifiques à certaines classes (en rouge dans la figure 3.3 et des méthodes qui, bien qu'apparaissant dans toutes les classes, auront un comportement commun à chaque classe (en vert dans la figure)).

MediumAlert	LowAlert	HighAlert
timeOfArrival:Date cause:String t:Tech	timeOfArrival:Date cause:String	timeOfArrival:Date cause:String
handle():void handle():void log():void	handle():void log():void	Engineer e Date alarm handle():void setAlarm(Date d):void log():void

FIGURE 3.3 – Attributs et méthodes pour les différents types d'alertes

Il est possible d'éviter de dupliquer le code en définissant une *classe mère* comportant l'ensemble des attributs et des méthodes communes dont les *classes filles* `HighAlert`, `LowAlert` et `MediumAlert` hériteront.

```

1  import java.util.Date;
2
3  public class Alert {
4
5      // représente la date et l'heure
6      private Date timeOfArrival;
7      private String cause;
8
9      public Alert(String cause, Date timeOfArrival) {
10         this.cause = cause;
11         this.timeOfArrival = timeOfArrival;
12     }
13
14     public void log() {
15         // ...
16     }
17
18     public void handle() {
19         // ...
20     }
21
22 }

```

Listing 25 – La classe `Alert` définissant le comportement commun à toutes les alertes.

```

1  public class LowAlert extends Alert {
2
3      public LowAlert(String cause) {
4          // le constructeur par défaut de la classe
5          // Date renvoie la date courante (jour + heure)
6          super(cause, new Date());
7      }
8
9  }

```

Listing 26 – La classe `LowAlert` modélisant les alertes dont la gravité est basse.

En première approximation, l'héritage « copie » dans une classe fille l'ensemble des méthodes et des attributs publics à l'exception des constructeurs. Le listing 25 donne une implémentation (partielle) de la classe `Alert` et le listing 26 de la classe `LowAlert`. Cette dernière est définie comme une classe fille de la classe `Alert` à l'aide du mot-clé **extends** et ne comporte qu'un constructeur : les constructeurs d'une classe mère n'étant jamais hérités, une classe fille doit définir ses propres constructeurs ; ceux-ci (et c'est une règle qui ne souffre d'aucune exception) doivent nécessairement commencer par appeler un constructeur de la classe mère à l'aide du mot-clé **super**. En effet, les attributs privés n'étant pas hérités, une classe fille ne pourra pas accéder à ceux-ci (autrement que par le truchement des méthodes héritées) et appeler un constructeur de la classe mère est le seul moyen de les initialiser. Dans le cas de la classe `Alert`, le seul constructeur a deux paramètres auxquels il faudra donner une valeur lors de l'appel.

La classe `Alert` peut alors être utilisée comme n'importe quelle classe :

```

1  LowAlert alert = new LowAlert("erreur");
2  alert.log();

```

```

1 public class HighAlert extends Alert {
2
3     private Engineer responsible;
4     private Date alarm;
5
6     public HighAlert(String cause, Date d, Engineer eng) {
7         super(cause, d);
8         this.responsible = eng;
9         // par défaut l'alarme est fixée l'heure courante + 1h
10        // la durée doit être donnée en milliseconde
11        this.alarm = new Date(new Date() + 1000 * 60 * 60);
12    }
13
14    @Override
15    public void handle() {
16        // appel de la méthode handle de Alert
17        super.handle();
18        // traitement spécifique à HighAlert
19        // ....
20    }
21
22    public void setAlarm(Date d) {
23        // ...
24    }
25
26 }

```

Listing 27 – Code de la classe HighAlert.

```

3 // ...
4 alert.handle();

```

Les méthodes `log` et `handle` ne sont pas directement définies dans la classe `LowAlert` mais « héritées » de la classe `Alert` et sont utilisables par les instances de `LowAlert`.

En plus des méthodes héritées, une classes peut définir toutes les méthodes nécessaires simplement en ajoutant le code de celle-ci à la définition de la classe comme le montre l'exemple de la classe `HighAlert` (listing 27). Il est également possible de *redéfinir* une méthode de la classe mère pour remplacer celle-ci par un comportement plus adapté. Une méthode est redéfinie quand une classe fille comporte la définition d'une méthode ayant exactement la même signature qu'une méthode de la classe mère comme la méthode `handle` de la classe `HighAlert`. Les conventions imposent également qu'une méthode redéfini dans la classe fille soit précédée de l'annotation `@Override`. Lors de la redéfinition d'une méthode, il est possible d'appeler la méthode de la classe mère à l'aide de la syntaxe `super.methode(arguments)` : par exemple, dans le cas de la méthode `handle`, la méthode de la classe `HighAlert` commence par appeler la méthode de la classe `Alert` (pour « effectuer » le traitement commun à toutes les alertes) avant d'ajouter les traitements spécifiques (par exemple celle faisant intervenir l'ingénieur).

4.1 Utilisation de bibliothèques

L'écosystème java contient de très nombreuses bibliothèques qui couvrent la plupart des sujets imaginables. Leur utilisation permet de réaliser très facilement des logiciels complets. Il existe ainsi des bibliothèques pour :

- ajouter des fonctionnalités manquante à la bibliothèque standard java (projet [Apache Commons](#)) ;
- construire des images 2D ou 3D (projet [Java OpenGL](#)) ;
- réaliser des calculs statistiques ou mathématiques (projet [International Mathematics and Statistics Library](#)) ;
- faire du TAL (projet [CoreNLP](#)).

Contrairement aux classes et méthodes de la bibliothèque standard, ces bibliothèques ne sont pas diffusées avec le compilateur et la machine virtuelle standard. Elles doivent être explicitement installées par le programmeur·euse·x.

Java définit un format, le format jar, pour stocker et diffuser des bibliothèques. L'utilisation des bibliothèques dans eclipse est particulièrement simple : il suffit de télécharger le jar de la bibliothèque à partir du site web de celle-ci ; ajouter ce fichier au projet dans eclipse (par exemple en faisant un glisser-déplacer du fichier à la racine du projet) puis indiquer au compilateur et à la machine virtuelle qu'il faut qu'ils considèrent les classes et les fonctions définies dans celui-ci en ajoutant le jar à la liste des bibliothèques à considérer (menu Project > Properties > Java Build Path > Libraries > Add JAR).

Cette approche extrêmement simple souffre ne passe toutefois pas à l'échelle : si elle peut être utilisée lorsqu'un projet n'utilise qu'une ou deux librairies, il est inconcevable de demander à un programmeur de télécharger et d'installer manuellement une dizaine de bibliothèques. L'installation manuelle de bibliothèque soulève deux autres problèmes :

- une bibliothèque peut dépendre¹ d'une ou de plusieurs autres bibliothèques et il est vite fastidieux de devoir lister et installer toutes les dépendances ;
- le code d'une bibliothèque peut évoluer très rapidement et le programme nécessiter une version précise d'une bibliothèque donnée. En plus de lister toutes les bibliothèques dont un programme dépend, il faut s'assurer de connaître la version exacte de la bibliothèque dont il a besoin (et de pouvoir installer celle-ci).

Il existe aujourd'hui des outils, comme [Apache Maven](#) qui automatise la gestion et l'installation des dépendances. La prise en main d'un tel outils dépasse toutefois les objectifs de ce document.

Le fichier jar peut être contenu dans une archive. Dans ce cas, il faut commencer par extraire celui-ci de l'archive.

1 : Une bibliothèque A *dépend* d'une bibliothèque B, si l'exécution de A n'est possible que si la bibliothèque B est installée

APPENDIX

Correction des exercices

A

A.1 Correction de l'exercice 1.4.1

Comme tous les problèmes d'informatique, il est plus simple de commencer par résoudre une version simplifiée du problème et de modifier ensuite le code de proche en proche pour traiter des cas de plus en plus complexes.

Nous allons commencer par écrire un programme générant la demi-pyramide de la figure A.1 (contrairement à l'objectif « final » celle-ci ne comporte qu'un type de symboles). Il suffit, dans ce cas, d'utiliser une boucle permettant de générer successivement les n lignes composant la pyramide et lors de la génération de i -ème ligne, d'afficher $i + 1$ symboles.

```
1 public class FirstHalf {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         int n = 6;
5
6         for (int i = 0; i < n; i++) {
7             System.out.println("+".repeat(i));
8         }
9
10    }
```

FIGURE A.1 – Demi-pyramide à réaliser dans la première étape de l'exercice 1.4.1.

```
*
**
***
****
*****
```

Listing 28 – Code permettant de générer la demi-pyramide de la figure A.1.

L'étape suivante consiste à générer la moitié gauche de la pyramide (représentée à la figure A.2). Cette ligne est composée de $n - i - 1$ espaces et de $i + 1$ symboles et peut être construite à l'aide de la boucle suivante :

```

1  for (int i = 0; i < n; i++) {
2      String line = " ".repeat(n - i - 1) +
3                  "+".repeat(i + 1);
4  }
```

En fusionnant les deux codes, il est alors possible de générer la pyramide complète. Il ne reste plus qu'à ajouter une condition sur la parité du numéro de ligne pour obtenir la pyramide souhaitée. Le code du listing 29 répond parfaitement à la question. Il reste toutefois à voir s'il peut être rendu plus lisible et simplifié, notamment pour enlever toutes traces des étapes intermédiaires. Cette étape consistant à « améliorer » le code sans ajouter de nouvelles fonctionnalités est appelé *refactoring*.

Le code final (listing 30) comporte deux modifications principales :

- le nom des variables a été modifiées pour être plus informatif ;
- les tests sur la parité de la ligne et le choix du symbole à afficher ont été *factorisés*. Le principal intérêt de cette factorisation est, en plus de réduire la taille du programme, que le choix du symbole à afficher est fait à un endroit unique ; changer le symbole à afficher ou la condition permettant de le choisir (p. ex. en affichant des + que toutes les trois lignes) est beaucoup moins risqué (on ne risque pas de ne modifier une seule des deux demies pyramides).

FIGURE A.2 – Demi-pyramide à réaliser dans la seconde étape de l'exercice 1.4.1.

```

*
**
***
****
*****
*****
```

```

1 public class FirstHalf {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         int n = 6;
5
6         for (int i = 0; i < n; i++) {
7             String line = "";
8
9             line += " ".repeat(n - i - 1);
10            if (i % 2 == 0) {
11                line += "*".repeat(i + 1);
12            } else {
13                line += "+".repeat(i + 1);
14            }
15
16            if (i % 2 == 0) {
17                line += "*".repeat(i + 1);
18            } else {
19                line += "+".repeat(i + 1);
20            }
21
22            System.out.println(line);
23        }
24    }
25 }
26
27 }

```

Listing 29 – Code java pour l'exercice 1.4.1 avant refactoring.

```

1 public class Pyramide {
2
3     public static void main(String[] args) {
4
5         int n = 7;
6
7         for (int lineNumber = 0; lineNumber < n; lineNumber++) {
8
9             String symb = "*";
10            if (lineNumber % 2 == 0) {
11                symb = "+";
12            }
13
14            String line = " ".repeat(n - lineNumber - 1) +
15                          symb.repeat(2 * lineNumber * 2);
16            System.out.println(line);
17        }
18    }
19 }
20
21 }

```

Listing 30 – Programme de génération de pyramide après refactoring.

A.2 Correction de l'exercice 1.4.2

A.3 Correction de l'exercice 2.2.1

```

1 public static int countTypes(String content) {
2
3     ArrayList<String> types = new ArrayList<>();
4     for (String word : content.split(" ")) {
5         if (!types.contains(word)) {
6             types.add(word);
7         }
8     }
9
10    return types.size();
11 }

```

A.4 Correction de l'exercice 2.2.2

```

1 public static ArrayList<String> findUnique(String content) {
2     ArrayList<String> types = new ArrayList<>();
3     ArrayList<String> repeatedWords = new ArrayList<>();
4
5     for (String word : content.split(" ")) {
6         if (!types.contains(word)) { //
7             types.add(word);
8         } else {
9             repeatedWords.add(word);
10        }
11    }
12
13    types.removeAll(repeatedWords);
14
15    ArrayList<String> res = new ArrayList<String>();
16    for (String word : content.split(" ")) {
17        if (types.contains(word)) {
18            res.add(word);
19        }
20    }
21
22    return res;
23 }

```

La solution proposée repose sur deux étapes :

- la première consiste à construire la liste de tous les mots qui n'apparaissent qu'une seule fois. Pour cela, nous construisons deux listes : la première contient tous les types apparaissant dans le paramètre content (la condition à la ligne 6 permet d'assurer qu'un mot ne sera ajouté qu'une seule fois à la liste types) ; la seconde ne contient que les mots apparaissant au moins deux fois (puisque un mot n'est ajouté à repeatedWords que s'il a déjà

été ajouté à types et donc déjà été vu). Il suffit alors de retirer de la liste types les éléments apparaissant dans repeatedWords à l'aide de la méthode removeAll.

- la seconde étape consiste à construire la liste contenant la réponse (mots apparaissant une seule fois par ordre d'apparition). Comme la bibliothèque standard n'impose aucune contrainte sur le fonctionnement de la méthode removeAll, il est nécessaire de parcourir explicitement les mots dans l'ordre d'apparition pour garantir que cet ordre est conservé. Il s'agit là d'une règle fondamentale en informatique : *explicit is better than implicit*!

A.5 Correction de l'exercice 2.2.3

```

1  import java.util.ArrayList;
2  import java.util.HashSet;
3
4  public class RepeatedArrayList {
5
6      public static boolean allUnique(ArrayList<String> lst) {
7          HashSet<String> set = new HashSet<String>(lst);
8          return lst.size() == set.size();
9      }
10
11     public static void main(String[] s) {
12
13         ArrayList<String> ex1 = new ArrayList<>();
14         ex1.add("a");
15         ex1.add("b");
16         ex1.add("a");
17
18         ArrayList<String> ex2 = new ArrayList<>();
19         ex2.add("a");
20         ex2.add("b");
21         ex2.add("c");
22
23         System.out.println("ex1 : " + allUnique(ex1));
24         System.out.println("ex2 : " + allUnique(ex2));
25     }
26 }

```

L'idée principale de cette solution est de « convertir » l'ArrayList en HashSet et de comparer la taille des collections : si l'ArrayList contient des éléments répétés, ceux-ci ne seront copiés qu'une fois dans le HashSet et celui contiendra donc moins d'éléments. Une simple comparaison de la taille des deux collections permet alors de répondre à la question.

L'implémentation proposée repose sur la possibilité d'initialiser un HashSet à partir d'une autre collection en utilisant le constructeur de la classe qui prend celle-ci en paramètre.

A.6 Correction de l'exercice 2.2.4

```

1  import java.util.ArrayList;
2  import java.util.HashSet;
3  import javafx.util.Pair;
4
5  public class CountPairs {
6
7      public static void main(String[] s) {
8
9          ArrayList<String> lst = new ArrayList<>();
10         for (String word : "a a b".split(" ")) {
11             lst.add(word);
12         }
13
14         HashSet<Pair<String, String>> set = new HashSet<>();
15         for (int i = 0; i < lst.size(); i++) {
16             for (int j = 0; j < i; j++) {
17                 Pair<String, String> p = new Pair<>(lst.get(i), lst.get(j));
18                 set.add(p);
19             }
20         }
21
22         System.out.println("il y a " + set.size() + " paires distinctes");
23         System.out.println(set);
24     }
25
26 }

```

A.7 Correction de l'exercice 2.2.5

```

1  import java.io.IOException;
2  import java.nio.file.Files;
3  import java.nio.file.Paths;
4  import java.util.HashMap;
5
6  public class CountWords {
7
8      public static void main(String[] args)
9          throws IOException {
10         String fileContent = new String(
11             Files.readAllBytes(Paths.get(args[0])));
12         System.out.println(countWords(fileContent));
13     }
14
15     public static HashMap<String, Integer> countWords(
16         String content) {
17         HashMap<String, Integer> counts = new HashMap<>();
18
19         for (String word : content.split("\\s+")) {
20             counts.put(word,

```



```

21         counts.getOrDefault(word, 0) + 1); //
22     }
23
24     return counts;
25 }
26
27
28 }

```

La fonction `countWords` permet de construire une `HashMap` déterminant pour chaque mot¹ le nombre de fois où celui-ci apparaît dans la chaîne. Cette construction est efficace au sens où la fonction ne parcourt qu'une seule fois la chaîne de caractères pour déterminer le nombre d'occurrences de chaque mot. Sa complexité est donc en $\mathcal{O}(n)$ où n est la taille de la chaîne content.

1 : Un mot correspond ici à n'importe quelle séquence de caractères entre deux espaces.

La construction repose sur deux principes :

1. la chaîne content est parcourue mot-à-mot ;
2. à n'importe quel moment de l'itération, la variable `counts` associe à l'ensemble des mots qui ont déjà été vus le nombre de fois où ceux-ci ont été vus. C'est un *invariant de boucle*.

Ainsi, si la fonction est appliquée à la chaîne "le chat et le chien", à la 2^e itération, `counts` contiendra :

```
{"chat": 1, "le": 1}
```

et à la 4^e itération :

```
{"le": 2, "chien": 1, "chat": 1}
```

Pour « respecter » ces principes, il suffit, à chaque itération, de modifier le dictionnaire pour incrémenter la valeur associée au mot qui vient d'être vu. Plus précisément, l'instruction à la ligne 21 va :

- récupérer la valeur associée au mot courant à l'aide de la méthode `getOrDefault` ;
- insérer cette valeur dans le dictionnaire après lui avoir ajouté 1 en l'associant au mot courant à l'aide de la méthode `put`.

Dans la mesure où les associations entre une clé et une valeur sont uniques dans un dictionnaire, cette dernière opération revient à incrémenter le nombre d'occurrences du mot courant (la valeur associée à ce mot est remplacée par la valeur « mise à jour »).

Quelques points de détails :

- Les mots de la chaîne de caractères sont identifiés à l'aide de l'instruction `content.split("\\s+").` Le séparateur passé en paramètre à la méthode `split` correspond à une expression régulière qui permet de « couper » la chaîne autour de n'importe quelle séquence composée d'un ou de plusieurs de la classe « espace ». Cette classe de caractères regroupe les différents caractères pouvant être utilisés comme espace : espace, espace insécable, tabulation, retour à la ligne, ... Les expressions régulières sont présentées de manière détaillées à la section 2.4.

- Le nom de fichier sera passé en argument du programme : le programme devra être appelé de la manière suivante en ligne de commande : `java CountWords nom_fichier.txt`. Pour une exécution depuis Eclipse, le nom du fichier à traiter sera à spécifier grâce à l'option `Run configurations` du menu `Run` (onglet `Arguments`). Les arguments passés au programme sont accessibles par l'intermédiaire du paramètre de la fonction `main`.