Introduction à la Programmation Objet : Structures de contrôle

Laboratoire d'Intelligence Artificielle
Faculté I&C

©EPFL 2025
J. Sam

Support MOOC

Vidéo et Quiz de :

`https://www.coursera.org/learn/initiation-programmation-java/home/week/2`

`https://www.coursera.org/learn/initiation-programmation-java/home/week/3`

- ☞ Semaine 2 et 3
- ☞ Notes de cours et BOOC, semaine 2
- ☞ Notes de cours et BOOC, semaine3

©EPFL 2025
J. Sam

Pendant l'heure de cours

- Petit rappel des points importants
- Fiches résumé : opérateurs et structures de contrôle
- Approfondissements :
  - Évaluation « paresseuse » des expressions (slide 11 chez vous)
  - Du bon usage des booléens (12)
  - Opérateur ternaire (23)
  - Choix multiples (26)
  - Sauts : `break` et `continue` (44)
- Étude de cas (4)
- Une dernière question ... (à découvrir en cours)

©EPFL 2025
J. Sam

Etude de cas

Comment calculer l'expression suivante sans produire d'erreur (par exemple sans « `Nan` », « *Not a number* » ou sans valeurs infinies) ?

$$f(x) = \frac{\sqrt{20+7x-x^2}\,\log\left(\frac{1}{x+5}\right)}{\frac{x}{10}-\sqrt{\log\left(x^3-3x+7\right)-\frac{x^2}{5}}}$$

©EPFL 2025
J. Sam

Structures de contrôle

À ce stade du cours, un programme se réduit à une simple **séquence d'instructions** (simples).

... Comment décrire aisément des algorithmes plus complexes ?

☞ **structures de contrôle**

- permettent la représentation d'enchaînements plus complexes
- servent à modifier l'ordre linéaire d'exécution d'un programme

Les structures de contrôle font exécuter à la machine des tâches :

- de façon répétitive,
- ou en fonction de certaines conditions
- . . . ou les deux

©EPFL 2025
J. Sam

Exemple (connu)

```
import java.util.Scanner;

class Degre2 {
  public static void main (String[] args) {

    Scanner keyb = new Scanner(System.in);
    double b=0.0;
    double c=0.0;
    double delta=0.0;

    b = keyb.nextDouble();
    c = keyb.nextDouble();
    delta = b*b - 4.0*c;
      if (delta < 0.0) {
      System.out.println( "Pas de solutions réelles");
       } else if (delta == 0.0) {
      System.out.println ("Une solution unique : " + -b/2.0);
    } else {
      System.out.println("2 solutions: " + (-b-Math.sqrt(delta))/2.0
           +  " et " + (-b+Math.sqrt(delta))/2.0);
    }
  }
}
```

données
traitements
structures de contrôle

©EPFL 2025
J. Sam

Opérateurs de comparaison

Les opérateurs de comparaison (relationnels) sont :

`==`	égalité
`!=`	non égalité
`<`	inférieur
`>`	supérieur
`<=`	inférieur ou égal
`>=`	supérieur ou égal

Leur résultat est un **booléen** (`true` ou `false`) (expression logique)
Exemples (expressions logiques avec opérateur de comparaison) :

```
x >= y
x != (z + 2)
(x + 4) - z == 5
b = (x == 5);
```

©EPFL 2025
J. Sam

ATTENTION PIÈGE !

Ne pas confondre l'opérateur de test d'égalité `==` et l'opérateur d'affectation `=`

- `x = 3` : **affecte** la valeur 3 à la variable `x`
  (et donc modifie cette dernière)

- `x == 3` : **teste** la valeur de la variable `x`, renvoie `true` si elle vaut 3 et `false` sinon
  (et donc ne modifie pas la valeur de `x`)

©EPFL 2025
J. Sam

Opérateurs logiques

On peut combiner des expressions logiques au moyen d'opérateurs logiques :

`&&`	"et" logique
`||`	ou
∧	ou exclusif
!	négation

*(Remarque : cet opérateur n'a qu'**un seul** opérande)*

Exemples :

- Expression logique utilisant des opérateurs logiques :

```
((z != 0) && (2*(x-y)/z < 3))
```

- Code utilisant des opérateurs logiques :

```
boolean unTest=true;
//...
boolean unAutreTest =
        (x >= 0) || ((x*y > 0) && !unTest);
```

©EPFL 2025
J. Sam

Opérateurs logiques (2)

Les opérateurs logiques `&&`, `||` et `!` sont définis par les tables de vérité usuelles :

x	y	!x	x && y	x || y	x ∧ y
true	true	false	true	true	false
true	false	false	false	true	true
false	true	true	false	true	true
false	false	true	false	false	false

©EPFL 2025
J. Sam

Évaluation paresseuse

Les opérateurs logiques `&&` et `||` effectuent une **évaluation paresseuse** ("*lazy evaluation*") de leur arguments :

l'évaluation des arguments se fait de la gauche vers la droite et seuls les arguments strictement nécessaires à la détermination de la valeur logique sont évalués.

Ainsi, dans `X1 && X2 && ... && Xn`, les arguments `Xi` ne sont évalués que *jusqu'au 1er argument faux* (s'il existe, auquel cas l'expression est fausse, sinon l'expression est vraie) ;

Exemple : dans `(i != 0) && (3/i < 25)` le second terme ne sera effectivement évalué uniquement si `i` est non nul. La division par `i` ne sera donc jamais erronée.
Et dans `X1 || X2 || ... || Xn`, les arguments ne sont évalués que *jusqu'au 1er argument vrai* (s'il existe, auquel cas l'expression est vraie, sinon l'expression est fausse).

Exemple : dans `(i == 0) || (3/i < 25)` le second terme ne sera effectivement évalué uniquement si `i` est non nul.

©EPFL 2025
J. Sam

Variables Booléennes

Une **variable booléenne** représente une **condition**

☞ Inutile de la comparer explicitement à `true` ou `false` !

Correct :

```
if (unTest)
if (!unTest)
return unTest;
```

Non recommandé :

```
if (unTest == true)
if (unTest != true)
if (unTest == false)
if (unTest != false)
if (unTest) return true;
   else return false;
```

©EPFL 2025
J. Sam

Opérateurs

Operateurs arithmétiques

`*`	multiplication	
`/`	division	
`%`	modulo	
`+`	addition	
`-`	soustraction	
`++`	incrémentation	*(1 opérande)*
`--`	décrémentation	*(1 opérande)*

Operateurs de comparaison

`==`	teste l'égalité logique
`!=`	non égalité
`<`	inférieur
`>`	supérieur
`<=`	inférieur ou égal
`>=`	supérieur ou égal

Operateurs logiques

`&&`	"et" logique	
`||`	ou	
`^`	ou exclusif	
`!`	négation	*(1 opérande)*

Priorités (par ordre décroissant, tous les opérateurs d'un même groupe sont de priorité égale) : `! ++ -`, `* / %`, `+ -`, `< <= > >=`, `== !=`, `^ &&`, `||`

Notation abrégée : `x = x <op> y`, où `<op>` est un opérateur arithmétique, peut aussi s'écrire : `x <op>= y` (exemple : `x += y`)

Les différentes structures de contrôle

On distingue 3 types de structures de contrôle :

les branchements conditionnels : *si ... alors ...*

Si $\Delta = 0$
  $x \leftarrow -\frac{b}{2}$
Sinon
  $x \leftarrow \frac{-b-\sqrt{\Delta}}{2}$, $y \leftarrow \frac{-b+\sqrt{\Delta}}{2}$
fin du si

les boucles conditionnelles : *tant que ...*

Tant que réponse non valide
  poser la question
fin de "tant que"

les itérations : *pour ... allant de ... à ...* , *pour ... parmi ...*

$$x = \sum_{i=1}^{5} \frac{1}{i^2}$$

$x \leftarrow 0$
Pour i de 1 à 5
  $x \leftarrow x + \frac{1}{i^2}$
fin du pour

Les différentes structures de contrôle

On distingue 3 types de structures de contrôle :

les branchements conditionnels : *si ... alors ...*

les boucles conditionnelles : *tant que ...*

les itérations : *pour ... allant de ... à ...* , *pour ... parmi ...*

Note : on peut toujours (évidemment !) faire des itérations en utilisant des boucles :

$x \leftarrow 0$
$i \leftarrow 1$
Tant que $i \leq 5$
  $x \leftarrow x + \frac{1}{i^2}$
  $i \leftarrow i + 1$
fin de "tant que"

mais conceptuellement (et syntaxiquement aussi dans certains langages) il y a une différence.

Les différentes structures de contrôle

On distingue 3 types de structures de contrôle :

les branchements conditionnels : *si ... alors ...*

les boucles conditionnelles : *tant que ...*

les itérations : *pour ... allant de ... à ...* , *pour ... parmi ...*

Les définitions de ces diverses structures de contrôle reposent sur les notions de **condition** et de **bloc** d'instructions.

Une **condition** est une *expression logique* telle que définie au cours précédent.

Instructions composées : les blocs

En Java, les instructions peuvent être **regroupées en blocs**.

Les blocs sont identifiés par des **délimiteurs explicites** de début et de fin de bloc : `{ }`
Exemple de bloc :

```
{
    Scanner keyb = new Scanner(System.in);
    int i ;
    double x ;
    System.out.println("Valeurs pour i et x : ") ;
    i = keyb.nextInt();
    x = keyb.nextDouble();
    System.out.println("Vous avez saisi : i=" + i
                       + ", x=" + x);
}
```

©EPFL 2025
J. Sam

Notion de portée : les blocs

Bloc = séquence d'instructions comprises entre `{` et `}`

- Les blocs en Java sont autonomes.
- Ils peuvent contenir leurs propres déclarations/initialisations de variables

Exemple :

```
if (x != 0.0) {
        double y = 0.0; // variable locale
        y = 5.0 / x;
        ...
}
// ici on ne peut plus utiliser y
```

©EPFL 2025
J. Sam

Notion de portée : local/global

1. les variables déclarées à l'intérieur d'un bloc sont appelées **variables locales** (au bloc).
   ☞ ne sont accessibles qu'à l'intérieur du bloc.
2. les variables déclarées en dehors de `main` seront de portée **globales** (à la classe).
   ☞ sont accessibles dans toute la classe.

Note : pour les variables globales, on distingue en Java des variables de classes et des variables d'instances (prochains cours)

©EPFL 2025
J. Sam

Portée : règles

Il ne peut y avoir en Java d'ambiguité sur les noms de variables : on ne peut pas redéclarer localement une variable déjà déclarée plus globalement.

Dans un sous-bloc (bloc imbriqué dans un autre), les références à des variables d'un bloc englobant sont autorisées.

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel

Le branchement conditionnel permet d'exécuter des traitements selon certaines conditions.
Syntaxe générale :

```
if (condition)
        Instructions1
else
    Instructions2
```

La *condition* est une expression logique. Elle est tout d'abord évaluée puis, si le résultat de l'évaluation est vrai alors la séquence *Instructions1* est exécutée, sinon la séquence *Instructions2* est exécutée.
Instructions1 et *Instructions2* sont :

- soit une **instruction élémentaire**,
- soit un **bloc d'instructions**.

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel – Exemples

Avec **instructions simples** :

```
if (x != 0.0)
    System.out.println (1.0/x) ;
else
    System.out.println ("erreur : x est nul.") ;
```

Avec **blocs** :

```
if (x > y) {
   min = y;
   max = x;
}
else {
   min = x;
   max = y;
}
```

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel – Blocs

Conseil : **utilisez toujours la syntaxe avec des blocs**, même si vous n'avez qu'une seule instruction.

- évite les ambiguités
- plus facile pour la maintenance (si l'on doit ajouter des instructions).
  - Dans les slides, on se passera des fois de la syntaxe avec des blocs pour économiser en place...

```
if (x != 0.0) {
System.out.println (1.0/x);
}
else {
System.out.println ("erreur : x est nul.") ;
}
```

☞ En cas de modification ultérieure (ajout d'une instruction), le bloc est déjà présent

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel – Blocs (2)

Notez également que le second bloc (`else`) est optionnel.

Exemple :

```
if (x < 0.0) {
        x = -x;
}
y = Math.sqrt(x);
```

(calcule $y = \sqrt{|x|}$)

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel – opérateur ?

Il existe un opérateur ternaire, `?`, permettant d'exprimer de façon consise l'évaluation d'une expression dépendant d'un branchement conditionnel simple :

Syntaxe générale :

```
(expression logique) ? ExpressionVrai : ExpressionFaux;
```

où `ExpressionVrai` est l'expression dont l'évaluation sera retournée si l'expression logique retourne vrai et `ExpressionFaux` est l'expression dont l'évaluation sera retournée sinon.

Exemple d'utilisation :

```
// Affiche la plus grande des deux valeurs
System.out.println((x > y) ? x : y);
```

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel – opérateur ?

Au lieu d'écrire ceci :

```
if (number % 2 == 0){
        System.out.println("Nombre pair");
}
else {
        System.out.println("Nombre impair");
}
```

On peut écrire :

```
System.out.println((number % 2 == 0) ?
                   "Nombre pair" : "Nombre impair");
```

©EPFL 2025
J. Sam

Branchement conditionnel – Suite

On peut également enchaîner plusieurs conditions :

```
if (condition1)
    Instructions1
 else if (condition2)
    Instructions2
 ...
 else if (conditionN)
    InstructionsN
 else
    InstructionsN+1
```

- *condition1* est tout d'abord évaluée puis, si le résultat de l'évaluation est vrai alors la séquence *Instructions1* est exécutée, sinon *condition2* est évaluée, et ainsi de suite ...
- Si aucune des conditions n'est vérifiée, la séquence *InstructionsN+1* est exécutée.

©EPFL 2025
J. Sam

Choix multiples (la version traditionnelle)

On peut écrire de façon plus claire l'enchaînement de plusieurs conditions dans le cas où l'on teste différentes valeurs d'une expression

Avec `if ..else`

```
if (i == 1)
   Instructions1
else if (i == 12)
   Instructions2
else if ...
else
   InstructionsN+1
```

Avec `switch`

```
switch (i)
{
   case 1:
      Instructions1
      break;
   case 12:
      Instructions2
      break;
   case ...
   default:
      InstructionsN+1
}
```

☞ chaque `case` correspond à une constante `int` (ou équivalent) ou `char` (`String` aussi depuis Java 7)

`InstructionsJ` : instruction élémentaire ou bloc d'instructions

`instructionsJ` : instruction élémentaire

©EPFL 2025
J. Sam

To `break` or not to `break` ...

Attention Si l'on ne met pas de `break`, l'exécution ne passe pas à la fin du `switch`, mais continue avec les instructions du `case` suivant :

```
switch (a+b) {
    case 0: instruction1; // execution uniquement
        break;            // quand (a+b) vaut 0
    case 2:
    case 3: instruction2; // quand (a+b) vaut 2 ou 3
    case 4:
    case 8: instruction3; // quand (a+b) vaut 2, 3, 4
        break;            //  ou 8
    default: instruction4; // dans tous les autres cas
}
```

©EPFL 2025
J. Sam

`switch` : un exemple

Soit l'enchaînement de conditions suivant :

```
System.out.print("Entrez un entier: ");

int a = keyb.nextInt();

if (a == 0)
    System.out.println("To break");
else
    if (a == 1)
        System.out.println("or not");
    else
        if (a == 2)
            System.out.println("to break");
        else
            System.out.println("that is the question");
```

Exercice : essayons de l'exprimer au moyen d'un `switch` ...

©EPFL 2025
J. Sam

Avec `break`

Code

```
System.out.print("Entrez un entier: ");
int a = keyb.nextInt();

switch (a) {
case 0 :
  System.out.println("To break");
  break;
case 1 :
  System.out.println("or not");
  break;
case 2 :
  System.out.println("to break");
  break;
default :
  System.out.println
    ("that is the question");
}
```

Exécution

```
Entrez un entier: 0
To break

Entrez un entier: 1
or not

Entrez un entier: 99
that is the question
```

©EPFL 2025
J. Sam

Sans `break`

Code

```
System.out.print("Entrez un entier: ");
int a = keyb.nextInt();

switch (a) {
case 0 :
  System.out.println("To break");
case 1 :
  System.out.println("or not");
case 2 :
  System.out.println("to break");
default :
  System.out.println
   ("that is the question");
}
```

Exécution

```
Entrez un entier: 99
that is the question

Entrez un entier: 2
to break
that is the question

Entrez un entier: 0
To break
or not
to break
that is the question
```

©EPFL 2025
J. Sam

`switch` vs `if..else`

`switch` est moins général que `if..else` :

- La valeur sur laquell on teste doit être soit `char` ou `int`, `byte`, `short` … ou `String)` (mais ce dernier type seulement depuis Java 7)
- Les cas **doivent être des constantes** (pas de variables)

©EPFL 2025
J. Sam

`switch` et Java >=14

- l'utilisation de `->` à la place de `:` permet d'éviter l'utilisation du `break`
- un cas peut être relatif à *plusieurs constantes*, séparées par des virgules
- l'instruction `switch` peut retourner un résultat.

Une fois maîtrisé le `switch` conventionnel, jetez un oeil à ce petit tutoriel très explicite : https://koor.fr/Java/Tutorial/java_switch_se_14.wp

Java 17, 21 et 25 parachèvent cet outillage avec des nouveautés puissantes (switch sur des objets, «pattern matching» etc.) qui ne seront d'intérêt que plus tard (abordé au second semestre)

Attention !Les correcteurs du MOOC fonctionnent avec la version 21 de Java

©EPFL 2025
J. Sam

Boucles

Les boucles permettent la mise en œuvre **répétitive** d'un traitement.
La répétition est **contrôlée** par une **condition de continuation**.

On distingue deux types de boucles.

1. boucle avec condition de continuation *a priori* (on veut **tester** la condition **avant d'exécuter** les instructions).
2. boucle avec condition de continuation *a posteriori* (on veut **exécuter** les instructions au moins une fois **avant de tester** la condition).

©EPFL 2025
J. Sam

Boucles – Condition de continuation *a priori*

Syntaxe générale :

```
while (condition)
    Instructions
```

Tant que la condition de continuation est vérifiée, les instructions sont exécutées.

`Instructions` est soit une **instruction élémentaire**, soit un **bloc d'instructions**. Il est conseillé, de nouveau, de toujours utiliser la syntaxe par bloc.

©EPFL 2025
J. Sam

Boucles – Condition de continuation *a posteriori*

Syntaxe générale :

```
do
   Instructions
while (condition);
```

Les instructions sont exécutées **jusqu'à ce que** la condition de continuation soit fausse (et au moins une fois au départ, indépendamment de la valeur de la condition).

Instructions est soit une **instruction élémentaire**, soit un **bloc d'instructions**. Il est conseillé, de nouveau, de toujours utiliser la syntaxe par bloc.

©EPFL 2025
J. Sam

Boucles : Exemple

Exercice : qu'affiche le code suivant ?

```
int i=5;
while (i > 1) {
        System.out.print(i + " ");
        i = i / 2 ;
}
```

Réponse :

5 2

©EPFL 2025
J. Sam

Exécution pas à pas de l'exemple

Instruction	effet	i
`int i=5;`	nouvelle variable `i`	5
`while (i > 1)`	teste `i > 1` → `true` ⇀ entre dans la boucle	5
`System.out.print(i + " ")`	affiche `5`	5
`i = i / 2 ;`	i = 5 / 2 = 2 (division **entière** !)	2
`while (i > 1)`	teste `i > 1` → `true` ⇀ continue dans la boucle	2
`System.out.print(i + " ")`	affiche `2`	2
`i = i / 2 ;`	i = 2 / 2 = 1	1
`while (i > 1)`	teste `i > 1` → `false` ⇀ sort de la boucle	1

©EPFL 2025
J. Sam

Boucles : Exemple 2

Exercice : qu'afficheront les codes suivants ?

```
int i=0;
while (i > 1) {
   System.out.print(i);
   i = i / 2 ;
}
```

n'affichera **rien !**

```
int i=0;
do {
   System.out.print(i);
   i = i / 2 ;
} while (i > 1);
```

affichera **0**

©EPFL 2025
J. Sam

L'itération `for`

Les itérations permettent l'application itérative d'un traitement, contrôlée par une **initialisation**, une **condition d'arrêt**, et une opération de **mise à jour** de certaines variables.
Syntaxe générale :

```
for (initialisation; condition; mise_a_jour)
        Instructions
```

Note : Une boucle `for` est équivalente à la boucle `while` suivante :

```
{ initialisation;
        while (condition) {
                Instructions
        mise_a_jour;
        }
}
```

Même remarque ici que pour `if` et `while` :
`Instructions` est soit une **instruction élémentaire**, soit un **bloc d'instruction**. Il est conseillé de toujours utiliser la syntaxe par bloc.

©EPFL 2025
J. Sam

L'itération `for` : Exemple 1

Exemple simple : affichage des carrés des nombres entre 0 et 9

```
for (int i=0; i < 10; i++) {
        System.out.println(i*i);
}
```

Notez qu'ici la variable de contrôle de la boucle, `i`, est déclarée et initialisée dans le `for`.

©EPFL 2025
J. Sam

L'itération `for` : Exemple 2

Remarque : si plusieurs instructions d'initialisation ou de mise à jour sont nécessaires, elles sont séparées par des **virgules**. Elles sont **exécutées de la gauche vers la droite**.
Exemple :

```
for (int i=0, s=0; i < 5; s += i, ++i) {
        System.out.println( i + ", " + s);
}
```

affichera

```
0, 0
1, 0
2, 1
3, 3
4, 6
```

©EPFL 2025
J. Sam

Déroulement de l'exemple précédent

Le déroulement instruction par instruction de l'exemple précédent est :

`int i=0;`	i=0
`int s=0;`	s=0
`i < 5` ? ☞ oui, donc on continue	
`System.out.println( i + ", " + s);`	0, 0
`s += i;` (c'est-à-dire `s = s + i;`)	s=0+0=0
`++i;` (c'est-à-dire `i = i + 1;`)	i=1
`i < 5` ? ☞ oui, donc on continue	
`System.out.println(i + ", " + s);`	1, 0
`s += i;`	s=0+1=1
`++i;`	i=2
`i < 5` ? ☞ oui, donc on continue	
`System.out.println(i + ", " + s);`	2, 1
`s += i;`	s=1+2=3
`++i;`	i=3
`i < 5` ? ☞ oui, donc on continue	

©EPFL 2025
J. Sam

```
                                          i=3   s=3
System.out.println(i + ", " + s);              3, 3
s += i;                                        s=3+3=6
++i;                                      i=4
```

`i < 5` ? ☞ oui, donc on continue

```
System.out.println(i + ", " + s);              4, 6
s += i;                                        s=6+4=10
++i;                                      i=5
```

`i < 5` ? ☞ **NON**, donc on s'arrête

©EPFL 2025
J. Sam

Sauts : `break` et `continue`

Java fournit deux instructions prédéfinies, `break` et `continue`, permettant de contrôler de façon plus fine le déroulement d'une boucle.

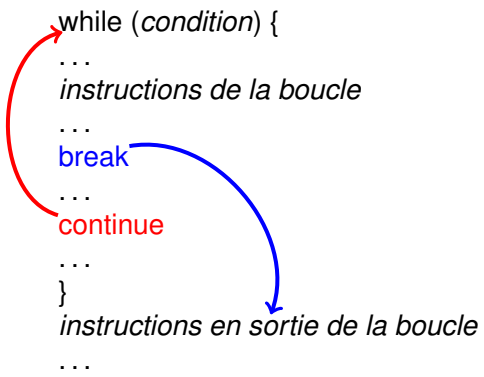
- Si l'instruction `break` est exécutée au sein du bloc intérieur de la boucle, l'exécution de la boucle est interrompue (quelque soit l'état de la condition de contrôle) ;
- Si l'instruction `continue` est exécutée au sein du bloc intérieur de la boucle, l'exécution du bloc est interrompue et la condition de continuation est évaluée pour déterminer si l'exécution de la boucle doit être poursuivie.

Note : il y a un assez large consensus sur le fait que l'utilisation du `break` et `continue` est à déconseiller en général.

> Pour la petite histoire, un bug lié à une mauvaise utilisation de `break;` a conduit à l'effondrement du réseau téléphonique longue distance d'AT&T, le 15 janvier 1990. Plus de 16'000 usagers ont perdu l'usage de leur téléphone pendant près de 9 heures. 70'000'000 d'appels ont été perdus.
> [P. Van der Linden, *Expert C Programming*, 1994.]

©EPFL 2025
J. Sam

Instructions `break` et `continue`



©EPFL 2025
J. Sam

Instruction `break` : exemple

Exemple d'utilisation de `break` :
une **mauvaise** (!) façon de simuler une boucle avec condition d'arrêt

```
while (true) {
        instruction1;
        ...
    if (condition arret)
       break;
}
autres instructions;
```

Question : quelle est la bonne façon d'écrire le code ci-dessus ?

©EPFL 2025
J. Sam

Instruction `continue` : exemple

Exemple d'utilisation de `continue` :

```
i = 0;
while (i < 100) {
        ++i;
        if ((i % 2) == 0) continue;
    // la suite n'est executee que pour les
    // entiers impairs
        Instructions;
        ...
}
```

Question : quelle est une meilleure façon d'écrire le code ci-dessus ?
(on suppose que `Instructions; ...` ne modifie pas la valeur de `i`)

©EPFL 2025
J. Sam

Portée : cas des boucles

La déclaration d'une variable **à l'intérieur d'une boucle** est une déclaration associée au bloc de la boucle.

Dans la structure d'itération suivante :

```
for (int i = 0; i < 10; i++) {
        System.out.println(i);
}
// on ne peut plus acceder a i ici
```

la variable `i` est **locale à la boucle**.

©EPFL 2025
J. Sam

Les structures de contrôle

les branchements conditionnels : *si ... alors ...*

```
if (condition)
    instructions
.....................
if (condition 1)
    instructions 1
...
else if (condition N)
    instructions N
else
    instructions N+1
```

```
switch (expression) {
   case valeur:
       instructions;
       break;
   ...
   default:
       instructions;
}
```

les boucles conditionnelles : *tant que ...*

```
while (condition)
    instructions
```

```
do
    instructions
while (condition);
```

les itérations : *pour ... allant de ... à ...*

```
for (initialisation ; condition ; increment)
    instructions
```

les sauts : `break;` et `continue;`

Note : `instructions` représente une instruction élémentaire ou un bloc.
`instructions;` représente une suite d'instructions élémentaires.

©EPFL 2025
J. Sam

Ce que j'ai appris aujourd'hui

- Comment exprimer des comparaisons et des tests logiques en Java (opérateurs relationnels et logiques)
- Comment faire exécuter certaines instructions **de façon répétitive** et/ou **en fonction de certaines conditions**
- A structurer certaines parties de mon code en **bloc**
- Comment écrire en Java les trois structures de contrôle de base :
  - Branchement conditionnels (`if`)
  - Boucles (`while`)
  - Itérations (`for`)
- Ce qu'est la notion de portée d'une variable.

☞ je peux maintenant écrire des programmes plus complexes, plus intéressants.

©EPFL 2025
J. Sam

Pour préparer le prochain cours

- Vidéos et quiz du MOOC semaine 4 :
  - Tableaux : introduction [11 :31]
  - Tableaux : déclaration [11 :09]
  - Tableaux : traitements courants [11 :03]
  - Tableaux : affectation et comparaison [9 :03]
  - Tableaux à plusieurs dimensions [10 :33]
- Vidéos et quiz du MOOC semaine 5 :
  - Tableaux dynamiques [25 :50]
  - String : introduction [9 :48]
  - String : comparaisons [7.08]
  - String : traitements [15 :24]
- Le prochain cours :
  - de 14h15 à 15h (résumé et quelques approfondissements)

©EPFL 2025
J. Sam

Introduction
En cours
Etude de cas
Opérateurs logiques
Structures de contrôle
Blocs et portée
Branchements
Choix multiple
Boucles
Itérations
Sauts
Annexe : représentation des nombres

©EPFL 2025
J. Sam

CS-107 – Cours 3 :– Structures de contrôle – – 51 / 61

Introduction
En cours
Etude de cas
Opérateurs logiques
Structures de contrôle
Blocs et portée
Branchements
Choix multiple
Boucles
Itérations
Sauts
Annexe : représentation des nombres

©EPFL 2025
J. Sam

CS-107 – Cours 3 :– Structures de contrôle – – 51 / 61

Introduction
En cours
Etude de cas
Opérateurs logiques
Structures de contrôle
Blocs et portée
Branchements
Choix multiple
Boucles
Itérations
Sauts
Annexe : représentation des nombres

©EPFL 2025
J. Sam

CS-107 – Cours 3 :– Structures de contrôle – – 51 / 61

Représentation binaire d'un nombre

Nous représentons usuellement les nombres en base 10, selon un système de notation positionnelle.

Exemples :

- **123** (en base 10) vaut : $1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0$
- **0.54** (en base 10) vaut : $0 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$

Le même principe de représentation est utilisable avec n'importe quelle autre base de numération.

Voici deux exemples de représentation binaire (en base 2) analogues aux précédents :

- `111010` en base 2 vaut : $1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ (c'est-à-dire 58 en base 10)
- Le nombre `0.011` en base 2 vaut : $0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$ (c'est à dire $\frac{1}{4} + \frac{1}{8} = 0.375$ en base 10)

©EPFL 2025
J. Sam
EPFL

Virgule flottante

Sur un ordinateur, l'ensemble $\mathbb{R}$ des réels est **approximé** par un ensemble **fini**, l'ensemble $\mathbb{F}$ des nombres représentables sur la machine.

Les nombres de $\mathbb{F}$ sont généralement définis selon la représentation dite « en **virgule flottante** » :

$$x = (-1)^s.m.\beta^{e+L-t} = (-1)^s \beta^{e+L} \sum_{i=0}^{t} a_i \beta^{-i}$$

où :

- $m = a_0 a_1 \dots a_t$ est la **mantisse** (nombre entier de $t+1$ chiffres) avec $0 \leq a_i \leq \beta - 1$;
  (a_0 est le chiffre le plus significatif, a_t le moins significatif)
- $t+1$ est le nombre de chiffres significatifs ;
- e est l'**exposant** : un entier contenu dans un intervalle de valeurs admissibles $[0, U]$; $L < 0 < U$;
- β est la base (dans le cas où cette base vaut 2, ce qui est en informatique, chaque chiffre occupe 1 bit) ;
- s, valant 0 ou 1, est le **bit de signe**.

©EPFL 2025
J. Sam
EPFL

Virgule flottante (2)

Exemple (simpliste) de représentation en virgule flottante :
$\beta = 2$, $t = 5$, $U = 15$,$L = -7$ (4 bits)

Quel est le nombre représenté par `01010100101` ?

`01010100101` = `0 1010 100101`

c.-à-d. : $s = 0$, $e = \texttt{1010} = 10$, $m = \texttt{100101} = 32 + 4 + 1 = 37$
et donc :

$$x = (-1)^s.m.\beta^{e+L-t} = 37 \cdot 2^{10-7-5} = 37/4 = 9.25$$

On peut aussi le lire comme :

$$\underbrace{1,00101}_{m} \cdot 2^{10-7} = \left(1 + \frac{1}{8} + \frac{1}{32}\right) \cdot 8 = 8 + 1 + \frac{1}{4}$$

Autre exemple (simple) :

`10000000001` = `1 0000 000001`

c.-à-d. : $s = 1$, $e = \texttt{0000} = 0$, $m = \texttt{000001} = 1$, et donc :

$$x = (-1)^s.m.\beta^{e+L-t} = -1 \cdot 2^{-12} = -1/4096 = -0.000244140625$$

©EPFL 2025
J. Sam
EPFL

Virgules flottantes (3)

Les représentations en virgule flottante

$$\mathbb{F}(\beta, t, L, U) = \{x \in \mathbb{R} : x = (-1)^s \beta^{e+L} \sum_{i=0}^{t} a_i \beta^{-i}\} \text{ avec } \beta \geq 2$$

sont en général **normalisées** pour assurer l'*unicité* de la représentation :

- $a_0 \neq 0$ (sauf pour $e = 0$)
  Note : en binaire ($\beta = 2$), a_0 est donc forcément 1 ; on choisit alors de ne pas le représenter explicitement.
- le signe de zéro est fixé arbitrairement (généralement $s = 0$)

Pour éviter la prolifération de systèmes de calcul numériques différents, la représentation en virgule flottante fait l'objet de **normes** IEEE.
Dans cette norme, les exposant $e = 0$ et $e = U$ (tout à 1) ont des sens particuliers :

- $e = 0$: $m = 0$ ☞ $x = 0$, $m \neq 0$ ☞ m est alors interprété avec $a_0 = 0$ (au lieu de $a_0 = 1$) et e interprété comme 1 (i.e. $e + L = L + 1$, pas L) ;
- $e = U$: $m = 0$ ☞ $x = \infty$, $m \neq 0$ ☞ x est « not a number (NaN) »

©EPFL 2025
J. Sam
EPFL

Virgule flottante (4)

Concrètement :
Simple précision (sur 32 bits) : $U = 255$, $L = -127$

1	8 bits	23 bits
s	e	m

Double précision (sur 64 bits) : $U = 2047$, $L = -1023$

1	11 bits	52 bits
s	e	m

Notes : un dépassement de capacité (overflow) se produit lorsqu'une opération sur des nombres en virgule flottante produit un nombre x non-représentable par un nombre en vigule flottante ($x \in]-\infty, -x_{max}[\cup]x_{max}, +\infty[$ où x_{max} est le plus grand nombre réel représentable).

©EPFL 2025
J. Sam

Exemples norme IEC 559 simple précision

`0 00000000 00000000000000000000000`
☞ $x = 0$

`1 00000001 00000000000000000000001`
☞ $x = -2^{1-127} \cdot (1 + 2^{-23}) = 2^{-126} + 2^{-149} \simeq 1.18e-38$

`0 00000000 00000000000000000000001`
☞ $x = 2^{-126} \cdot 2^{-23} = 2^{-149} \simeq 1.40e-45$

`0 10000000 10000000000000000000000`
☞ $x = 2^{128-127} \cdot (1 + 2^{-1}) = 2 \cdot 1.5 = 3$

`0 01111111 00000000000000000000000`
☞ $x = 2^{127-127} \cdot 1 = 1$

Exercice : `01000000010010010000111111011011`

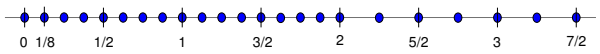
©EPFL 2025
J. Sam

Distribution non-uniforme des points en virgule flottante

Par construction, les nombres en virgule flottante ne sont **pas espacés de façon identique** dans l'ensemble des réels : plus l'on est proche du plus petit nombre représentable, plus ils sont denses.

(β = 2, t = 3, U = 3, L = -1)

Mantisse	Exposant 00	01	10	11
bit de signe → 0 000	0	1	2	∞
0 001	0.125	1.125	2.25	NaN
0 010	0.25	1.25	2.5	NaN
0 011	0.375	1.375	2.75	NaN
0 100	0.5	1.5	3	NaN
0 101	0.625	1.625	3.25	NaN
0 110	0.75	1.75	3.5	NaN
0 111	0.875	1.875	3.75	NaN



©EPFL 2025
J. Sam

Virgule flottante et erreur d'arrondis

Lorsqu'un nombre x de $\mathbb{R}$ n'est pas dans $\mathbb{F}$ (i.e. non-représentable exactement), on manipule à sa place son plus proche arrondi $fl(x)$ (élément de $\mathbb{F}$).

La manipulation de tels nombres est donc forcément **entachée d'erreur**

Exemple :
Comment s'écrit 0.1 ($= 1/10$) en binaire ?

			erreur	écriture binaire
1/10	$\simeq$	1/16 + 1/32	1/160	`0.00011`
	$\simeq$	1/16 + 1/32 + 1/256	3/1280	`0.00011001`
	$\simeq$	1/16 + 1/32 + 1/256 + 1/512	1/2560	`0.000110011`

Question : est-ce que « ça s'arrête » ?
c'est-à-dire est-ce qu'il existe une représentation binaire finie de 1/10 ?

©EPFL 2025
J. Sam

Virgule flottante et erreur d'arrondis (2)

Que vaut le nombre qui s'écrit en binaire `0.0001100110011001100110011...` ?

$$\begin{aligned} 0.\overline{00011} &= 0.1 \times 0.\overline{0011} = \frac{1}{2} \times 0.\overline{0011} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{2^{4i-1}} + \frac{1}{2^{4i}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} (2+1) \times \frac{1}{2^{4i}} \\ &= \frac{3}{2} \times \left(\frac{1}{1-\frac{1}{2^4}} - 1 \right) = \frac{3}{2} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{10} \end{aligned}$$

et donc le nombre binaire $0.\overline{00011}$ vaut (en décimal) $1/10$

Conclusion : toute représentation binaire (de longueur finie) de $1/10$ comportera une erreur

Note : ce n'est pas spécifique au binaire : comment s'écrit $1/3$ en décimal ?

©EPFL 2025
J. Sam

Virgule flottante et erreur d'arrondis (3)

Les erreurs absolue et relative causées en substituant $fl(x)$ à x sont toutefois aisément quantifiables :

erreur relative : $E_{rel}(x) = \frac{|x - fl(x)|}{|x|} \leq 0.5\, \beta^{1-t}$

erreur absolue : $E_x = | x - fl(x) | \leq 0.5\, \beta^{e-t}$

Un problème important est cependant que dans la plupart des méthodes numériques, chaque opération élémentaire et/ou chaque itération (si c'est une méthode itérative) est susceptible d'être entachée d'erreur

☞ il y a donc un **effet cumulatif** des erreurs à prendre en compte et qui est dépendant de l'algorithme de calcul utilisé

©EPFL 2025
J. Sam