

# Information, Calcul et Communication (partie programmation) : Structures de contrôle

Jamila Sam  
Laboratoire d'Intelligence Artificielle  
Faculté I&C

©EPFL 2025-26  
Jamila Sam  
& Jean-Cédric Chappelier

**EPFL**



En **C++11**, on peut laisser le compilateur *deviner le type* d'une variable grâce au mot-clé **auto**.

Le type de la variable est déduit du **contexte**. Il faut donc qu'il y ait un contexte, c'est-à-dire une **initialisation**.

Par exemple :

```
auto val(2);  
auto j(2*i+5);  
auto x(7.2835);
```

**Conseil :** **N'abuser pas** de cette possibilité et explicitez vos types autant que possibles.

N'utilisez **auto** que dans les cas « techniques », par exemple (qui viendra plus tard dans le cours) :

```
for (auto p = v.begin(); p != v.end(); ++p)  
au lieu de  
for (vector<int>::iterator  
     p = v.begin(); p != v.end(); ++p)
```

## Vidéos, transparents et quiz

[www.coursera.org/learn/initiation-programmation-cpp/](http://www.coursera.org/learn/initiation-programmation-cpp/)

☛ Semaine 3 (et 2)

©EPFL 2025-26  
Jamila Sam  
& Jean-Cédric Chappelier

**EPFL**

ICC (partie programmation) – Cours 4 : Structures de contrôle – 2 / 40

## Données modifiables/non modifiables

Par défaut, les variables en C++ sont modifiables.

Si l'on ne souhaite pas modifier une « variable » après son initialisation : la définir comme **constante** (pour ce nom là uniquement)

La nature **modifiable** ou **non modifiable** d'une donnée *au travers de ce nom* peut être définie lors de la déclaration par l'indication du mot réservé **const**.

*Elle ne pourra plus être modifiée par le programme* en utilisant ce nom (toute tentative de modification via ce nom produira un message d'erreur lors de la compilation).

Exemples :

```
int const couple(2);  
double const g(9.81);
```



En C++11, il existe aussi le mot clé `constexpr`.

Il est d'utilisation plus générale, mais est aussi plus contraignant que `const` : la valeur initiale doit pouvoir être calculée à la compilation.

☞ Les deux (`const` et `constexpr`) sont donc très différents !

- ▶ `const` indique au compilateur qu'une donnée ne changera pas de valeur au travers de ce nom ; mais
  1. le compilateur peut très bien ne pas connaître la valeur en question au moment de la compilation ; et
  2. cette valeur pourrait changer par ailleurs.
- ▶ `constexpr` indique au compilateur qu'une donnée ne changera pas du tout de valeur et qu'il doit pouvoir en calculer la valeur au moment de la compilation (i.e. cette valeur ne dépend pas de ce qu'il va se passer plus tard dans le programme).

Conseil : Si ces deux conditions sont vérifiées, on préférera utiliser `constexpr`.

## Structures de contrôle

C++ (comme la plupart des langages de programmation) permet la représentation d'enchaînements plus complexes grâce aux **structures de contrôle**

À quoi ça sert ?

Une structure de contrôle sert à **modifier l'ordre linéaire d'exécution** d'un programme.

☞ faire exécuter à la machine des tâches de façon **répétitive**, ou **en fonction de certaines conditions** (ou les deux).

```
// Programme ami.cc
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    string nom;
    string adresse;

    // Lecture des données
    cout << "Donnez le nom de votre ami : ";
    cin >> nom;

    cout << "Donnez l'adresse de votre ami : ";
    cin >> adresse;

    // Impression de l'étiquette
    cout << nom << endl;
    cout << adresse << endl;
}
```

## Exécution linéaire

## 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**  
 $x \leftarrow -\frac{b-\sqrt{\Delta}}{2}$ ,  $y \leftarrow -\frac{b+\sqrt{\Delta}}{2}$

les boucles conditionnelles : *tant que ...*

**Tant que** réponse non valide  
poser la question

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

$$x \leftarrow 0$$

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

$$x \leftarrow 0$$

$$\text{Pour } i \text{ de 1 à 5}$$

$$x \leftarrow x + \frac{1}{i^2}$$

## 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 ← 0
i ← 1
Tant que i ≤ 5
    x ← x + 1/i
    i ← i + 1
```

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

## Retour à notre premier exemple

Résolution d'une équation du second degré :  $x^2 + bx + c = 0$

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;
main() {
    double b(0.0);
    double c(0.0);
    double delta(0.0);

    cin >> b >> c;
    delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0.0) {
        cout << "pas de solutions réelles" << endl;
    } else if (delta == 0.0) {
        cout << "une solution unique : " << -b/2.0 << endl;
    } else {
        cout << "deux solutions : " << (-b-sqrt(delta))/2.0
            << " et " << (-b+sqrt(delta))/2.0 << endl;
    }
}
```

données  
traitements  
structures de contrôle

## 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.

## Conditions

Pour exprimer des conditions

☞ Opérateurs de **comparaison** et opérateurs **logiques**

# Opérateurs de comparaison

Les opérateurs de comparaison (relationnels) sont :

<code>==</code>	égalité
<code>!=</code>	non égalité
<code>&lt;</code>	inférieur
<code>&gt;</code>	supérieur
<code>&lt;=</code>	inférieur ou égal
<code>&gt;=</code>	supérieur ou égal

Leur résultat est un **booléen** (`true` ou `false`)

Exemples (expressions logiques avec opérateur de comparaison) :

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

# Opérateurs logiques

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

<code>&amp;&amp;</code>	“et” logique
<code>  </code>	ou
<code>!</code>	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 :

```
bool un_test(true);
bool un_autre_test((x >= 0) ||
                    ((x*y > 0) && !unTest));
```

Note : La norme (ISO/IEC 14882 :1998) définit aussi les formes alternatives : `and`, `or` et `not` Par exemple `((x >= 0) or ((x*y > 0) and not un_test))`

► pas toujours supporté par tous les compilateurs :-(

# Le type `bool`

`bool` est un type (au même titre que `char`, `int` ou `double`)

- ne peut prendre que **deux valeurs**
- valeurs littérales : `true`, `false`
- représente de « valeurs de vérité », des conditions logiques

# 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

## Boucles et itérations

Les boucles permettent la mise en oeuvre **répétitive** d'un traitement.

La répétition **contrôlée** par une **condition de continuation**.

- ▶ boucles conditionnelles *a priori*

```
while (condition) {  
    Instructions  
}
```

- ▶ boucles conditionnelles *a posteriori*

```
do {  
    Instructions  
} while (conditions);
```

## Boucles : Exemple

```
int i(5);  
while (i > 1) {  
    cout << i << endl;  
    i = i / 2;  
}
```

affichera

- ▶ **itérations générales («à la C»)**

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

- ▶ **itérations sur ensembles de valeurs (C++11)**

☞ plus tard (tableaux)

```
for (declaration : ensemble)
```

## Approfondissements

- ▶ Du bon usage des booléens
- ▶ Évaluation paresseuse
- ▶ Choix multiples
- ▶ l'instruction `break`
- ▶ l'instruction `continue`

# Du bon usage des variables booléennes

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

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

**Correct**:

```
if (un_test)
if (!un_test)
return un_test;
```

**Non recommandé**:

```
if (un_test == true)
if (un_test != true)
if (un_test == false)
if (un_test != false)
```

## Choix multiples

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**



## 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.

## 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
}
```

## switch : un exemple

Soit l'enchaînement de conditions suivant :

```
cout << "Entrez un entier: ";
int a; cin >> a;

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

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

## Sans break

### Code

```
cout << "Entrez un entier: ";
int a; cin >> a;

switch (a) {
    case 0 :
        cout << "To break" << endl;
    case 1 :
        cout << "or not" << endl;
    case 2 :
        cout << "to break" << endl;
    default :
        cout <<
            "that is the question" << endl;
}
```

### 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
```

## Avec break

### Code

```
cout << "Entrez un entier: ";
int a; cin >> a;

switch (a) {
    case 0 :
        cout << "To break" << endl;
        break;
    case 1 :
        cout << "or not" << endl;
        break;
    case 2 :
        cout << "to break" << endl;
        break;
    default :
        cout <<
            "that is the question" << endl;
}
```

### Exécution

```
Entrez un entier: 0
To break
```

```
Entrez un entier: 1
or not
```

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

## switch VS if..else

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

- ▶ La valeur sur laquelle on teste doit être soit **char** ou **int**
- ▶ Les cas **doivent être des constantes** (pas de variables)

## Sauts : break et continue

C++ 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.

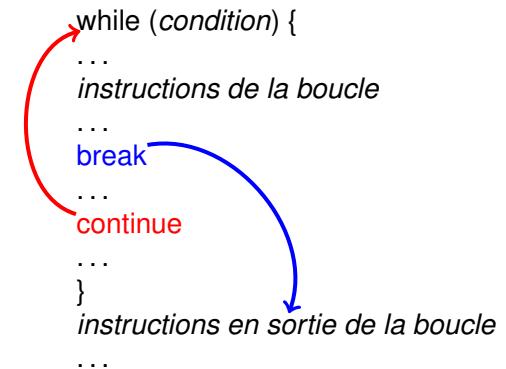
Conseil : En toute rigueur on n'aurait **pas besoin** de ces instructions, et tout bon programmeur **évite de les utiliser**.

## Breaking (it too) bad

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.]

## Instructions break et continue



## Instruction break : exemple

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

```
while (true) {  
    Instruction 1;  
    ...  
    if (condition_d_arret)  
        break;  
}  
autres instructions;
```

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

## Instruction continue : exemple

Exemple d'utilisation de `continue` :

```
int i;
...
i = 0;
while (i < 100) {
    ++i;
    if ((i % 2) == 0) continue;
    // L'exécution de la suite des instructions
    // ne se fait 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`)

► calculer des valeurs de la fonction

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



## 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
```

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.

## Etude de cas

## Etude de cas

Comment calculer l'expression suivante sans produire d'erreur  
(i.e. sans « Nan », « Not a number ») ?

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

### DÉCOMPOSER

Traiter « petit bout par petit bout »

Par exemple :

```
if (x + 5.0 == 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : division par 0" << endl;
    return 1; // On sort avec un code d'erreur
}
```

## Etude de cas

Bien sûr, on suppose qu'au préalable `x` ait été déclaré et ait une valeur, par exemple saisie au clavier :

```
double x(0.0);
cout << "Entrez une valeur pour x : ";
cin >> x;
```

On pourrait alors continuer le code par exemple comme suit :

```
double x(0.0);
cout << "Entrez une valeur pour x : ";
cin >> x;

if (x + 5.0 == 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : division par 0" << endl;
    return 1;
}

if (x + 5.0 < 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : logarithme d'un nombre négatif" << endl;
    return 1;
}
```

## Etude de cas

Solution : introduire une variable auxiliaire, qui représente justement le fait que ce soit la *même chose* :

```
double auxiliaire(x + 5.0);
if (auxiliaire == 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : division par 0" << endl;
    return 1;
}

if (auxiliaire < 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : logarithme d'un nombre négatif" << endl;
    return 1;
}
```

## Etude de cas

Mais ce code présente un **gros défaut** !

```
if (x + 5.0 == 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : division par 0" << endl;
    return 1;
}

if (x + 5.0 < 0.0) { // x + 5.0 COPIEE-COLLEE !!
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : logarithme d'un nombre négatif" << endl;
    return 1;
}
```

**JAMAIS DE « COPIER-COLLER » !**

Dans du code, il ne faut **jamais** avoir deux fois la même chose !

☞ problèmes de maintenance (corrections futures du code)

## Etude de cas

On peut ensuite continuer dans le même esprit, en utilisant si nécessaire une seconde variable :

```
// ...

if (auxiliaire < 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : logarithme d'un nombre négatif" << endl;
    return 1;
}

double resultat(log(1.0 / auxiliaire));

auxiliaire = 20.0 + 7.0*x - ***;
if (auxiliaire <= 0.0) {
    cerr << "Expression invalide pour x=" << x
    << " : racine d'un nombre négatif" << endl;
    return 1;
}

resultat *= sqrt(auxiliaire);

// etc.
```

## Qu'en est-il des problèmes de précision ?

Les comparaisons exactes entre `double` peuvent être erronées en raison de problèmes de précision.

Ainsi `x+0.5 == 0` peut (alors que l'on pense `x` valoir `-5.0`) retourner `false` au lieu de `true` si par exemple `x` est obtenue par calcul !

En pratique, lorsque cela est rendu possible par le domaine d'application, on fait souvent des comparaisons à un *espilon* près :

```
constexpr PRECISION(1e-8);  
  
if (abs(x + 0.5) <= PRECISION) {  
    //...  
}
```

Néanmoins, il ne s'agit alors plus d'une résolution mathématique du problème !

Si l'on veut faire des mathématiques avec un ordinateur, il faut soit admettre que les résultats ne sont pas garantis (**ce que vous allez faire dans les exercices de cette semaine**), soit avoir recours à d'autres procédés plus complexes (arithmétique des intervalles par exemple, mais c'est tout un domaine !)

## Pour préparer le prochain cours

► Vidéos et quiz du MOOC semaine 4 :

- ▶ Fonctions : introduction [16 :07]
- ▶ Fonctions : appels [09 :35]
- ▶ Fonctions : passage des arguments [09 :29]
- ▶ Fonctions : prototypes [05 :56]
- ▶ Fonctions : méthodologie [10 :21]