Les nombres entiers

Dans les chapitres précédents, vous avez appris à utiliser `std::cout` pour afficher des messages. Les messages sont des chaînes de caractères encadrées par des guillemets droits ". Une valeur écrite directement dans le code C++ est appelée une **littérale**. Il existe d'autres types de littérales, par exemple :

- les nombres entiers : `0`, `1`, `2`, `-1`, `-2` ;
- les nombres réels : `1.0`, `2.1`, `-5.12`, `1.457` ;
- les booléens, qui représentent une valeur à deux états : `true` (vrai) et `false` (faux) ;
- les caractères : 'a', 'b', 'c' ;
- les chaînes de caractères (que vous avez déjà vu) : "hello, world", "salut tout le monde".

Remarquez bien la différence entre les caractères, qui s'écrivent avec des guillemets droits simples, et les chaînes, qui s'écrivent avec des guillemets droits doubles. Notez aussi que les nombres réels s'écrivent avec un point (notation anglaise) et non avec une virgule (notation française).

Vous pouvez afficher ces littérales directement en utilisant `std::cout`, comme vous l'avez vu pour les chaînes de caractères.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 1 << std::endl;              // nombre
entier
    std::cout << 3.1415 << std::endl;         // nombre
réel
    std::cout << true << std::endl;           // booléen
    std::cout << 'a' << std::endl;            // caractère
```

```
    std::cout << "hello, world!" << std::endl; // chaîne de
caractères
}
```

Nous reviendrons par la suite sur les spécificités de chaque type de littérale, voyons pour le moment les nombres entiers plus en détail.

Écrire des nombres entiers

Les nombres entiers ne devraient pas vous poser de problème, ce sont les nombres que vous utilisez pour compter depuis l'école maternelle. La forme la plus simple pour écrire un nombre entier est d'écrire une série continue de chiffres entre 0 et 9.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 1 << std::endl; // affiche le nombre 1
    std::cout << 2 << std::endl; // affiche le nombre 2
    std::cout << 3 << std::endl; // affiche le nombre 3
    std::cout << 4 << std::endl; // affiche le nombre 4
}
```

Pour écrire un nombre entier négatif, vous devez ajouter le signe moins devant le nombre.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << -1 << std::endl; // affiche le nombre -1
    std::cout << -2 << std::endl; // affiche le nombre -2
    std::cout << -3 << std::endl; // affiche le nombre -3
    std::cout << -4 << std::endl; // affiche le nombre -4
}
```

Lorsque vous écrivez de très grands nombres, il peut être difficile de les lire. Par exemple :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 123456789123456789 << std::endl;
}
```

La raison est que le cerveau humain est capable de reconnaître des groupes de quelques caractères, mais pas un seul bloc de 18 caractères. Il n'arrive donc pas, en un coup d'œil, à identifier si ce nombre est de l'ordre du million, du milliard ou autre.

Pour faciliter la lecture, il est possible d'ajouter un caractère guillemet droit simple ' pour séparer un grand nombre en plusieurs groupes. Par habitude, on sépare en groupes de trois chiffres :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 123'456'789'123'456'789 << std::endl;
}
```

Notez bien la différence entre le guillemet droit simple utilisé pour écrire une littérale de type caractère et le séparateur numérique. Si la littérale commence par un un guillemet, elle sera considérée comme étant un caractère.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 4'56 << std::endl;  // ok, séparateur
numérique
    std::cout << '456 << std::endl;  // erreur, guillemet
manquant (1)
    std::cout << '456' << std::endl; // erreur, plusieurs
caractères (2)
}
```

La première erreur se produit du fait que le compilateur pense que le guillemet correspond au début d'une littérale caractère, mais ne trouve pas la fin.

```
main.cpp:5:18: warning: missing terminating ' character
[-Winvalid-pp-token]
    std::cout << '456 << std::endl;
                 ^
```

La seconde erreur correspond à une littérale caractère qui contient plusieurs caractères.

```
main.cpp:6:18: warning: multi-character character constant
[-Wmultichar]
    std::cout << '456' << std::endl;
                 ^
```

Vous pouvez écrire des nombres très grands de cette manière, mais il existe une limite. Si vous écrivez un nombre trop grand, vous aurez un message d'erreur signalant que ce nombre est trop grand.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 123456789123456789123456789123456789 << std
::endl;
}
```

produira l'erreur :

```
main.cpp:4:18: error: integer literal is too large to be
represented in any integer type
    std::cout << 123456789123456789123456789123456789 <<
std::endl;
                 ^
```

L’existence d'une valeur maximale limite est liée à la représentation des nombres dans la mémoire des ordinateurs et à la notion de type de données. Vous verrez cela dans les prochains chapitres.

Il existe des outils qui permettent d'utiliser des nombres avec autant de chiffres que vous souhaitez, mais il ne sera pas possible d'utiliser dans ce cas les nombres entiers tel que définis dans ce chapitre. Vous verrez par la suite quelques bibliothèques qui permettent de faire cela et pourrez implémenter ce type de fonctionnalités.

Les nombres décimaux, hexadécimaux, octaux et binaires

Les nombres entiers que vous utilisez habituellement s'écrivent à partir de dix chiffres (0 à 9). C'est pour cette raison que l'on parle de système décimal (du latin *decimus*, qui signifie “dixième”) et de base 10. Mais ce n'est pas la seule façon d'écrire les nombres et il existe d'autres systèmes numériques.

Imaginons par exemple que vous souhaitez écrire des nombres en n'utilisant que huit chiffres (0 à 7 - base 8). Dans ce cas, nous pouvons compter de la façon suivante : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Arrivé au huitième chiffre, nous ne pouvons pas écrire “8”, puisque ce chiffre n'est pas autorisé dans ce système. Donc, il faut passer à un nombre à deux chiffres : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, etc.

En C++, il est possible d'écrire et afficher des nombres écrits selon des bases différentes de 10. Pour des raisons historiques et matérielles, les ordinateurs savent manipuler les nombres en base 2 (binaire), 8 (octal), 10 (décimal) et 16 (hexadécimal). Pour écrire un nombre dans une base différente de 10, il faut commencer le nombre par le chiffre 0 puis un caractère optionnel pour spécifier la base : rien pour octal, `x` ou `X` pour l'hexadécimal et `b` pour le binaire. Les chiffres autorisés pour écrire un nombre dépendent de la base utilisée : de 0 à 7 pour l'octal, de 0 à 9 et de a à f (ou A à F) pour l'hexadécimal et 0 et 1 pour le binaire.

Le code suivant permet d'afficher la valeur de 10 selon la base :

main.cpp

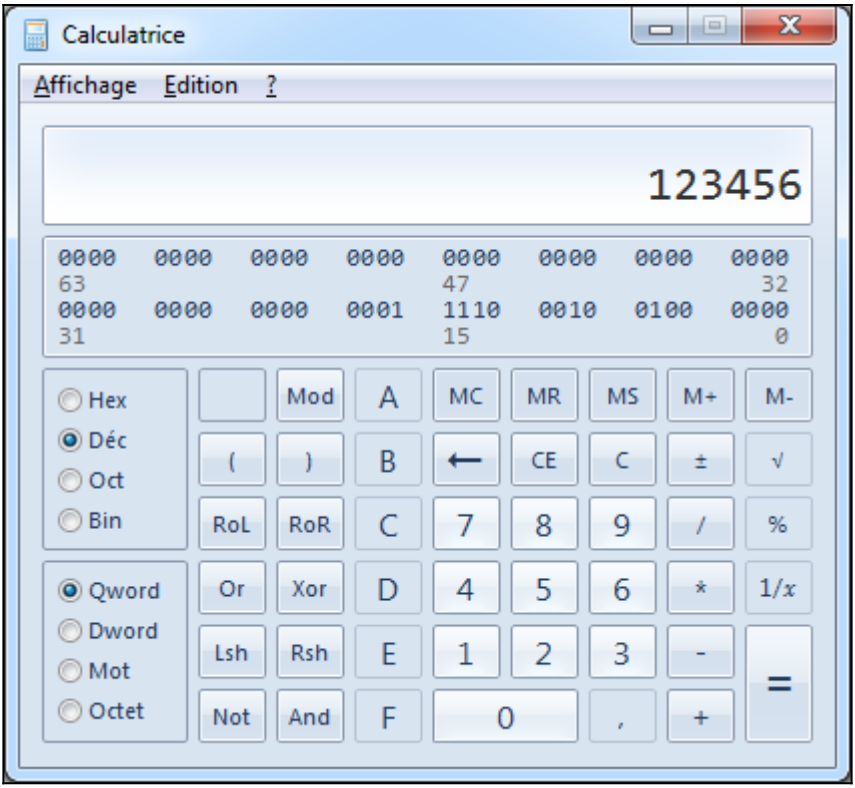
```
#include <iostream>
```

```cpp
int main() {
    std::cout << 10 << std::endl;
    std::cout << 010 << std::endl;
    std::cout << 0x10 << std::endl;
    std::cout << 0b10 << std::endl;
}
```

affiche :

```
10
8
16
2
```

Il est possible de réaliser ces conversions à la main, mais c'est plus simple d'utiliser un logiciel de conversion. Il existe des convertisseurs en ligne, vous pouvez également utiliser la calculatrice de Windows en sélectionnant le mode “Programmeur” dans le menu “Affichage”.



Il faut donc bien faire attention à la base utilisée lorsque l'on écrit un nombre.

Base	Système	Préfixe	Chiffres	Exemple
2	binaire	0b	0 et 1	`0b01`
8	octal	0	0 à 7	`001234567`
10	décimal		0 à 9	`1234567890`
16	hexadécimal	0x	0 à 9 et a à f	`0x0123456789abcdef`
		0X	0 à 9 et A à F	`0X0123456789ABCDEF`

Comme vous l'avez vu dans les codes précédents, les nombres sont affichés après conversion en base 10. C'est le mode de fonctionnement par défaut de `std::cout`, mais il est possible de modifier ce comportement. Les directives (*I/O manipulator*) suivantes permettent de modifier la base utilisée par `std::cout` pour afficher les nombres :

- `std::oct` pour afficher en utilisant la base 8 ;
- `std::dec` pour afficher en utilisant la base 10 ;
- `std::hex` pour afficher en utilisant la base 16.

Il n'existe pas de directive permettant d'afficher les nombres en binaire. Vous pourrez réaliser cela dans un exercice, dans la suite du cours.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::hex;
    std::cout << 10 << std::endl;
    std::cout << 010 << std::endl;
    std::cout << 0x10 << std::endl;
    std::cout << 0b10 << std::endl;
}
```

affiche :

```
a
8
10
2
```

Comme vous le voyez, une directive continue de s'appliquer sur toutes les lignes suivantes, tant que vous ne donnez pas une directive modifiant une nouvelle fois l'affichage. Vous pouvez écrire les directives sur une ligne différente (comme dans le code précédent), sur la première ligne ou à chaque ligne, cela ne change rien au résultat.

Faites bien la distinction entre des directives comme `std::endl`, qui ont un effet immédiat, et les directives comme `std::hex`, qui ont un effet permanent, jusqu'à ce qu'une autre directive modifie le comportement.
Si vous affichez des nombres en utilisant plusieurs bases différentes, il peut être difficile de savoir à quelle base correspond chaque nombre affiché. Il est possible d'afficher la base utilisée pour l'affichage avec la

directive `std::showbase`. Pour ne plus afficher la base, vous pouvez utiliser la directive `std::noshowbase`.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 10 << std::endl;
    std::cout << 010 << std::endl;
    std::cout << 0x10 << std::endl;
    std::cout << 0b10 << std::endl;
    std::cout << std::endl;

    std::cout << std::hex << std::showbase;
    std::cout << 10 << std::endl;
    std::cout << 010 << std::endl;
    std::cout << 0x10 << std::endl;
    std::cout << 0b10 << std::endl;
}
```

affiche :

```
10
8
16
2

0xa
0x8
0x10
0x2
```

Les opérations arithmétiques sur les entiers

Pouvoir écrire et afficher des nombres entiers est un début, mais il est possible d'aller plus loin et de réaliser des calculs dessus. Pour cela, le C++ propose plusieurs opérateurs naturels de l'arithmétique, comme l'addition `+`, la soustraction `-` ou la multiplication `*`.

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "123 + 456 = " << 123 + 456 << std::endl;
    std::cout << "123 - 456 = " << 123 - 456 << std::endl;
    std::cout << "123 * 456 = " << 123 * 456 << std::endl;
}
```

affiche :

```
123 + 456 = 579
123 - 456 = -333
123 * 456 = 56088
```

Faites bien la distinction entre l'opération écrite entre guillemets “123 + 456”, qui est donc interprétée comme une chaîne de caractères et non évaluée, et la même chose en dehors des guillemets, qui sera interprétée comme une expression mathématique et évaluée.
Il est également possible de calculer des divisions entières avec l'opérateur division `/` et de calculer le reste d'une division entière avec l'opérateur `%`. Pour rappel, la division entière permet de calculer le résultat d'une division en utilisant uniquement des nombres entiers (c'est le premier type de division que vous avez appris à l'école). Ainsi :

- avec une division entière : 11 divisé par 4 donne 2 et reste 3 ;
- avec une division réelle : 11 divisé par 4 donne 2,75.

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "10 / 2 = " << 10 / 2 << std::endl;
    std::cout << "10 / 3 = " << 10 / 3 << std::endl;
    std::cout << "10 / 4 = " << 10 / 4 << std::endl;

    std::cout << "10 % 2 = " << 10 % 2 << std::endl;
```

```
    std::cout << "10 % 3 = " << 10 % 3 << std::endl;
    std::cout << "10 % 4 = " << 10 % 4 << std::endl;
}
```

affiche :

```
10 / 2 = 5
10 / 3 = 3
10 / 4 = 2
10 % 2 = 0
10 % 3 = 1
10 % 4 = 2
```

En C++, l'opérateur `/` est utilisé pour faire les divisions entières et réelles. Il faut donc particulièrement faire attention de ne pas se tromper lorsque l'on écrit une expression, sous peine d'avoir des résultats étranges.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "11 / 4 = " << 11 / 4 << std::endl;
// division entière
    std::cout << "11.0 / 4.0 = " << 11.0 / 4.0 << std::endl;
// division réelle
}
```

affiche :

```
11 / 4 = 2
11.0 / 4.0 = 2.75
```

Les opérations mathématiques suivent la sémantique habituelle, en particulier pour l'ordre d'évaluation et l'utilisation des parenthèses. Pour rappel, pour évaluer une expression mathématique (une série de plusieurs opérations), l'ordre d'évaluation est le suivant :

- en premier, évaluer les expressions entre parenthèse ;
- ensuite, évaluer les multiplications et les divisions ;
- pour terminer, évaluer les additions et les soustractions.

Ainsi, l'expression ci-dessous s'évalue de la façon suivante :

```
  5 - (2 + 3) / 4
= 5 -    5    / 4
= 5 -         1
=   4
```

Pour exercice, écrivez le code C++ correspondant pour évaluer cette expression et vérifier que le résultat est correct.

De la même façon, les opérateurs du C++ suivent les règles arithmétiques habituelles :

- la commutativité : a + b = b + a (uniquement pour l'addition et la multiplication) ;
- l'associativité : a + (b + c) = (a + b) + c ;
- la distributivité : a * (b + c) = a * b + a * c.

On peut vérifier facilement ces règles avec un programme C++ :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Commutativité :" << std::endl;
    std::cout << "2 + 3 = " << 2 + 3 << std::endl;
    std::cout << "3 + 2 = " << 3 + 2 << std::endl;

    std::cout << "Associativité :" << std::endl;
    std::cout << "2 + (3 + 4) = " << 2 + (3 + 4) << std::
endl;
    std::cout << "(2 + 3) + 4 = " << (2 + 3) + 4 << std::
endl;

    std::cout << "Distributivité :" << std::endl;
    std::cout << "2 * (4 + 3) = " << 2 * (4 + 3) << std::
```

```
endl;
    std::cout << "2 * 4 + 2 * 3 = " << 2 * 4 + 2 * 3 << std
::endl;
}
```

affiche :

```
Commutativité :
2 + 3 = 5
3 + 2 = 5
Associativité :
2 + (3 + 4) = 9
(2 + 3) + 4 = 9
Distributivité :
2 * (4 + 3) = 14
2 * 4 + 2 * 3 = 14
```

Les comportements indéfinis

Un dernier point pour terminer, essayez de diviser un nombre entier par zéro :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "1 / 0 = " << (1 / 0) << std::endl;
}
```

Ce code affichera un avertissement (*warning*) à la compilation, vous informant que la division par zéro n'est pas définie :

```
main.cpp:4:20: warning: division by zero is undefined
[-Wdivision-by-zero]
    std::cout << (1/0) << std::endl;
                   ^~
```

On parle en C++ de “comportement indéfini”, *undefined behavior* en anglais, que l'on abrège parfois avec les initiales “UB”. Cela signifie qu'un

programme utilisant un tel code aura un comportement aléatoire et pourra faire n'importe quoi : provoquer une erreur, donner un résultat quelconque ou encore sembler fonctionner correctement. Les comportements indéfinis sont difficiles à corriger, puisque cela ne produit pas forcement un message d'erreur clair.

Ainsi, l'exécution du programme précédent se déroule sans erreur à l'exécution. Par contre, la valeur affichée par `std::cout` est aléatoire (dans Coliru.com) et n'a pas de sens en termes mathématiques :

```
1 / 0 = 4196864
```

Le C++ étant un langage permissif, le compilateur ne va pas nécessairement vérifier que vous écrivez du code incorrect. C'est de votre responsabilité de vérifier que le code ne provoque pas de comportement indéfini. Pour cela, voici quelques aides :

Respectez les bonnes pratiques de codage. Comme le C++ est permissif, le développeur a le droit d'écrire du code correct ou du code incorrect. Cela peut paraître évident, mais il vaut mieux le dire : il est préférable d'écrire du code correct que du code incorrect ! Il y a souvent plusieurs façons en C++ de résoudre un même problème, certaines approches posent davantage de problèmes que d'autres.

Ce cours de C++ n'a pas pour vocation à vous apprendre tout le C++. Il se focalise, volontairement, sur les syntaxes les plus récentes et les plus sûres. Et même en utilisant ces approches modernes, il y aura des précautions à prendre pour éviter les problèmes. Vous apprendrez à écrire du code le plus sécurisé possible.

Faites vous aider par le compilateur. Celui-ci peut faire certaines vérifications, comme dans le code précédent, et vous avertir lorsque vous écrivez un code qui pose potentiellement un problème. Tous les compilateurs ne font pas les mêmes vérifications et les contrôles effectués dépendent des options utilisées. Les options `-Wall -Wextra -pedantic` qui vous ont été présentés dans coliru.com activent les principales vérifications, mais il en existe d'autres. Il peut être intéressant de compiler un code avec plusieurs compilateurs pour avoir un maximum de messages d'avertissement.

Utilisez les outils de vérification statique et dynamique. Ce sont des outils qui font plus de vérifications que le compilateur. Les premiers vérifient le code directement, alors que les seconds travaillent sur le programme après compilation (donc durant l'exécution).

Non seulement ils permettent de vérifier le respect des règles du langage C++, mais également que certaines pratiques de codage sont respectées. Dans l'objectif d'écrire des programmes C++ modernes, il ne faut pas hésiter à utiliser ce type d'outils. Vous verrez dans la suite de ce cours comment installer et utiliser certains de ces outils.

Chapitre précédent	Sommaire principal	Chapitre suivant