entrer autant dans les détails ici ou mettre dans Compléments ?

Logique binaire et calcul booléen

Comme vous l'avez vu au chapitre précédent, vous pouvez écrire les nombres en base 2, encore appelé binaire, en utilisant la syntaxe `0b`. Les nombres binaires ont un intérêt particulier dans le monde de l'informatique. Les ordinateurs fonctionnent à la base avec des signaux électriques, il est très facile de représenter une valeur pouvant prendre deux états en électronique. Par exemple, on peut dire qu'une tension basse (autour de 0 volts) représente un état et une tension haute (autour de 5 volts) l'autre état.

Cette représentation électronique des valeurs binaires en +0V et +5V était vrai dans les premiers ordinateurs, mais avec l'évolution des besoins et des technologies, la situation actuelle est un peu plus compliquée. Le plus important à retenir dans ce cours C++ est qu'une valeur binaire peut prendre deux états.
Il est possible de nommer ces deux états de différentes manières, selon le contexte ou les habitudes. On peut par exemple parler d'états “haut” et “bas”, “oui” et “non”, “vrai” ou “faux”, “0” ou “1”, etc. En C++, vous avez deux manière de représenter une valeur binaire :

- pour écrire un nombre entier en utilisant le mode binaire avec `0b` et des 0 et 1 ;
- pour écrire une valeur binaire, en utilisant les mots-clés `true` (vrai) et `false` (faux).

Les booléens

Voyons dans un premier temps les valeurs binaires, encore appelées booléens (nom donné en l'honneur du mathématicien George Boole, qui

a créé cette branche des mathématiques).

Pour écrire une valeur booléenne, il faut utiliser les mots-clé `true` (vrai) et `false` (faux). Par défaut, `cout` affiche ces valeurs avec respectivement 1 et 0. La directive `std::boolalpha` permet d'afficher les booléens en clair.

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "false = " << false << std::endl;
    std::cout << "true = " << true << std::endl;
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "false = " << false << std::endl;
    std::cout << "true = " << true << std::endl;
}
```

affiche :

```
false = 0
true = 1
false = false
true = true
```

Les opérateurs logiques

Les booléens ne se manipulent pas comme des nombres entiers. En effet, cela n'a pas de sens de faire des opérations arithmétiques dessus. Les booléens permettent un nombre limité d'opérations dites logiques, qui prennent un ou deux booléens et retourne un nouveau booléen.

En fait, faire des opérations arithmétiques sur les booléens ne provoquera pas d'erreur de compilation, vous pouvez écrire par exemple `true+2`. Il faut comprendre que le C++ est un langage permissif, qui fait confiance aux développeurs par défaut.

C'est donc à vous d'écrire du code en suivant certaines règles de codage et en respectant les sémantiques. Et donc, même si `true+2` est autorisé par la norme du langage, cela n'a pas de sens en termes de sémantique (si on vous demande “est-ce qu'il faut beau aujourd'hui ?”, cela n'a pas de sens de réponse “oui plus deux”).

La première opération booléenne est la négation “NON” `!`, qui transforme `true` en `false` et `false` en `true` :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "!false = " << !false << std::endl;
    std::cout << "!true = " << !true << std::endl;
}
```

affiche :

```
!false = true
!true = false
```

La seconde opération est la conjonction `&&`, qui prend deux booléens et retourne vrai uniquement si les deux booléens valent vrai. Cette opération est également appelée “AND” ou “ET”, puisque pour que le résultat soit vrai, il faut que le premier booléen soit vrai ET que le second booléen soit vrai.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "false AND false = " << (false && false) <<
std::endl;
    std::cout << "false AND true = " << (false && true) <<
std::endl;
    std::cout << "true AND false = " << (true && false) <<
std::endl;
```

```
    std::cout << "true AND true = " << (true && true) << std
::endl;
}
```

affiche :

```
false AND false = false
false AND true = false
true AND false = false
true AND true = true
```

La dernière opérateur est la disjonction `||`, qui prend également deux booléens et retourne vrai si au moins un des deux booléens est vrai. Cette opération est également appelée “OR” ou “OU”, puisque pour que le résultat soit vrai, il faut que le premier booléen soit vrai OU que le second booléen soit vrai.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "false OR false = " << (false || false) <<
std::endl;
    std::cout << "false OR true = " << (false || true) <<
std::endl;
    std::cout << "true OR false = " << (true || false) <<
std::endl;
    std::cout << "true OR true = " << (true || true) << std
::endl;
}
```

affiche :

```
false OR false = false
false OR true = true
true OR false = true
true OR true = true
```

Ces opérateurs peuvent être résumé dans un tableau :

a	b	!a	a && b	a || b
0	0	1	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	1	0	1	1

Un point important pour terminer. Les opérateurs logiques du C++ fonctionne en utilisant l'évaluation paresseuse (*lazy evaluation*). Cela permet d'évaluer les opérandes uniquement si nécessaire. Imaginons les tests suivant :

```
a && (expression compliquée)
a || (expression compliquée)
```

dans lesquelles “expression compliquée” est un code quelconque qui prend du temps pour être évalué. Avec le tableau précédent, on peut remarquer un point : si “a” est faux, alors que le résultat de “a && b” sera toujours faux, quelque soit la valeur de “b”. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'évaluer “b”, puisque sa valeur ne change pas le résultat. Donc dans l'expression suivante :

```
a && (expression compliquée)
```

Si “a” est faux, “expression compliquée” n'est pas évaluée et le résultat retourné sera faux. “Expression compliquée” ne sera évaluée que si “a” est vrai.

De la même façon, si “a” est vrai dans la seconde expression avec “OR”, le résultat sera toujours vrai et il n'est pas nécessaire d'évaluer “expression complexe”. “Expression compliquée” ne sera évaluée que si “a” est faux.

```
a || (expression compliquée)
```

Cette technique permet de gagner en performances, en évitant de faire des calculs inutiles, mais cela implique une contrainte : il ne faut JAMAIS mettre dans une expression logique des calculs qui

peuvent modifier le comportement du programme. Il sera plus sûr de séparer ces calculs et les opérations logiques dans le code.

Les opérateurs de comparaison

Généralement, vous n'aurez pas à écrire `true` et `false` directement dans vos codes, vous manipulerez des booléens générés par des tests. Un test est simplement une expression (une suite d'instructions et de calculs) qui retourne un booléen. Les opérateurs logiques permettent donc de combiner des tests simples pour former des tests plus complexes, voire très complexes.

La méthode classique pour écrire une expression retournant un booléen est d'utiliser les opérateurs de comparaison. Comme leur nom l'indique, ces opérateurs permettent de comparer des valeurs et de retourner vrai ou faux, selon le résultat de cette comparaison. Ces opérateurs sont les suivants :

- l'opérateur “EST ÉGAL” `==` permet de tester si deux valeurs sont égales ;
- l'opérateur “EST DIFFÉRENT” `!=` permet de tester si deux valeurs sont différentes ;
- l'opérateur “EST SUPÉRIEUR À” `>` permet de tester si la première valeur est supérieure à la seconde ;
- l'opérateur “EST SUPÉRIEUR OU ÉGAL À” `>=` permet de tester si la première valeur est supérieure ou est égale à la seconde ;
- l'opérateur “EST INFÉRIEUR À” `<` permet de tester si la première valeur est inférieure à la seconde ;
- l'opérateur “EST INFÉRIEUR OU ÉGAL À” `⇐` permet de tester si la première valeur est inférieure ou est égale à la seconde.

Ces opérateurs peuvent s'appliquer sur des nombres entiers, des réels ou des caractères, par exemple :

main.cpp

```
#include <iostream>
```

```
int main() {
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "12.34 == 23.45 ? " << (12.34 == 23.45) <<
std::endl;
    std::cout << "12.34 != 23.45 ? " << (12.34 != 23.45) <<
std::endl;
    std::cout << "12.34 > 23.45 ? " << (12.34 > 23.45) <<
std::endl;
    std::cout << "12.34 >= 23.45 ? " << (12.34 >= 23.45) <<
std::endl;
    std::cout << "12.34 < 23.45 ? " << (12.34 < 23.45) <<
std::endl;
    std::cout << "12.34 <= 23.45 ? " << (12.34 <= 23.45) <<
std::endl;
}
```

affiche :

```
12.34 == 23.45 ? false
12.34 != 23.45 ? true
12.34 > 23.45 ? false
12.34 >= 23.45 ? false
12.34 < 23.45 ? true
12.34 <= 23.45 ? true
```

Pour les nombres, ces opérateurs ne posent pas de difficultés particulières, leur fonctionnement correspond à ce que vous connaissez en mathématique.

Les comparaison sur les chaînes de caractères est possible, mais nécessite quelques précautions. Vous verrez cela en détail dans le chapitre sur les chaînes.

Comme le langage C++ est permissif, la comparaison de valeurs de type différent ne produira pas forcément une erreur de compilation. Par exemple comparer un entier et un caractère :

```
std::cout << ('a'  < 42) << std::endl;
```

Par contre, cela n'a pas de sens en termes de sémantique (comme on dit, on ne compte pas ensemble des pommes et des poires), il ne faut donc pas écrire ce type de code. En revanche, vous pouvez combiner le résultat de plusieurs comparaisons sur des valeurs de type différent en utilisant les opérateurs logiques :

```
std::cout << (('a'  < 'z') && (123 >= 456)) << std::endl;
```

La représentation binaire

Voyons maintenant la représentation binaire des nombres entiers. Vous avez vu dans le chapitre précédent comment écrire un nombre selon cette représentation. Dans la représentation binaire, chaque chiffre 0 ou 1 est appelé un bit. Lorsque vous affichez ce nombre, la valeur est affichée (par défaut) selon la base 10 (décimale).

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 0b101010 << std::endl;
}
```

affiche :

```
42
```

Il n'existe pas de directive pour afficher les nombres directement en binaire, on utilise souvent à la place le représentation hexadécimale. La raison est qu'il est relativement facile de faire la conversion entre hexadécimale et le binaire. En effet, un chiffre hexadécimal correspond exactement à quatre chiffres binaires, il faut donc utiliser la conversion suivante :

hexadécimal	binaire	hexadécimal	binaire
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001

2	0010	a	1010
3	0011	b	1011
4	0100	c	1100
5	0101	d	1101
6	0110	e	1110
7	0111	f	1111

Ainsi, pour convertir la valeur `0x42` en binaire, vous devez prendre le premier chiffre (`4`), le convertir en binaire (`0100`), puis faire la même chose avec le second chiffre (`2`, ce qui donne `0010`). La représentation binaire finale est donc `0b01000010`.

La conversion entre nombres entier décimaux et leur représentation binaire est relativement simple, mais retenez que toutes les informations contenu dans un ordinateur sont enregistrée au format binaire, que ça soit du texte ou des nombres réels. La conversion n'est alors pas aussi directe qu'avec les nombres entiers et il existe des normes qui définissent ces conversions.

Une séquence de 8 bits (ou de 2 chiffres hexadécimaux, cela revient au même) est appelée un octet (1 o), 1024 octets donnent 1 kilo octet (1 ko), 1024 ko donnent 1 méga octets (1 Mo), 1024 méga octets donnent 1 giga octets (1 Go), 1024 giga octets donnent 1 tera octets (1 To).

Les opérateurs arithmétiques

Maintenant que vous savez écrire et lire les nombres binaires, vous allez pouvoir les manipuler. Comme ce sont des nombres entiers, les opérateurs arithmétiques présentés dans le chapitre précédent peuvent être utilisés :

main.cpp

```
#include <iostream>
```

```
int main() {
    std::cout << 0b1010 + 0b1011 << std::endl; // addition
    std::cout << 0b0011 - 0b1101 << std::endl; //
soustraction
    std::cout << 0b1000 * 0b1011 << std::endl; //
multiplication
    std::cout << 0b1001 / 0b0010 << std::endl; // division
entière
}
```

affiche :

```
21
-10
88
4
```

L'opérateur négation

En complément de ces opérateurs arithmétiques, il existe des opérateurs travaillant sur la représentation binaire, que l'on appelle opérateurs logiques bit à bit. Le premier opérateur est la négation `~`, qui permet d'inverser tous les bits d'un nombre (les 0 deviennent de 1 et les 1 deviennent des 0). Par exemple :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::hex << std::showbase;
    std::cout << ~0b1 << std::endl;
    std::cout << ~0b110011 << std::endl;
}
```

affiche :

```
0xfffffffe
0xffffffcc
```

Le résultat peut paraître surprenant. Si on réécrit ces deux nombres en binaire et qu'on les aligne avec les valeurs binaires d'origine, on obtient :

```
0b1 =                                                 1
0xfffffffe = 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1110

0b110011 =                                       11 0011
0xffffffcc = 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1100 1100
```

Si on se rappelle que les 0 devant un nombre peuvent être ignorés (1 = 01 = 001 = 0001, etc.), on comprend que l'opération est réalisée sur des nombres entiers de 32 bits (ou 4 octets), quelque soit le nombre de bits que l'on utilise pour écrire le nombre. Les 0 manquant devant le nombre sont ajoutés avant l'opération.

On pourrait se dire que c'est un gâchis au niveau de la mémoire que l'ordinateur utilise systématiquement 32 bits, alors que l'on écrit des nombres sur 1 ou 6 bits. La raison est qu'un ordinateur est conçu pour optimiser le travail sur des nombres d'une certaine taille (32 ou 64 bits par exemple pour les ordinateurs de bureau), ce qui explique cette conversion. La taille optimale pour représenter un nombre dépend du type de processeur et du système d'exploitation, mais il est possible en C++ d'utiliser des nombres de taille différentes. Vous verrez cela dans un prochain chapitre.

Un autre type d'opérateur logique sont les opérations de décalage à droite `»` et à gauche `«`. Ces opération permettent de décaler les bits à droite ou à gauche d'un certain nombre de bits. Par exemple :

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::hex << std::showbase;
    std::cout << (0b11011000 << 1) << std::endl; // décalage
de 1 bit à gauche
    std::cout << (0b11011000 << 2) << std::endl; // décalage
```

```
de 2 bit à gauche
    std::cout << (0b11011000 >> 1) << std::endl; // décalage
de 1 bit à droite
    std::cout << (0b11011000 >> 2) << std::endl; // décalage
de 2 bit à droite
}
```

Remarquez bien les parenthèses. Sans celle-ci, le compilateur ne pourra pas faire la différence entre les opérateur de décalage de bits `«` et `»` et les opérateurs de flux `«` et `»`, ce qui ne produira pas le comportement attendu.
Plus généralement, il faudra faire attention en C++ à la syntaxe, un même opérateur pouvant signifiant des choses différentes selon le contexte.

affiche :

```
0x1b0
0x360
0x6c
0x36
```

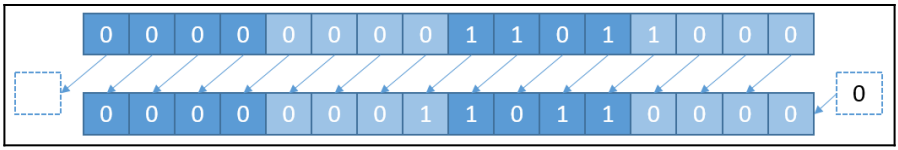
Affichons les valeurs en binaire et alignons les pour mieux comprendre :

```
0b11011000 = 0000 0000 0000 0000 0000 0000 1101 1000

0x1b0 =      0000 0000 0000 0000 0000 0001 1011 0000 //
décalage de 1 bit à gauche
0x360 =      0000 0000 0000 0000 0000 0011 0110 0000 //
décalage de 2 bit à gauche

0x6c =       0000 0000 0000 0000 0000 0000 0110 1100 //
décalage de 1 bit à droite
0x36 =       0000 0000 0000 0000 0000 0000 0011 0110 //
décalage de 2 bit à droite
```

Prenons par exemple le premier décalage (décalage de 1 bit à gauche). Avec un schéma, cela devrait être encore plus clair :



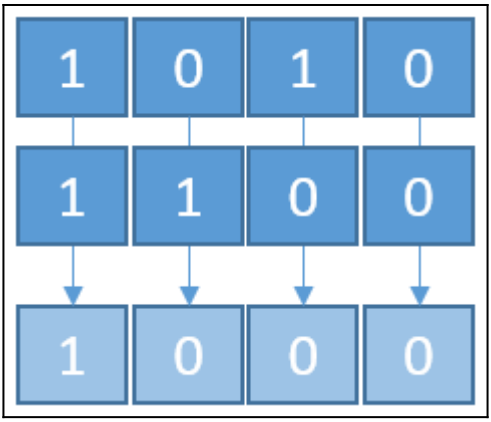
On voit :

- que la séquence de 0 et de 1 est identique ;
- qu'elle est décalée de 1 bit vers la gauche ;
- qu'un 0 est inséré à droite ;
- que le 0 à gauche est perdu.

division et multiplication par 2, 4, etc avec les décalage

Les opérateurs logiques bit à bit

Pour terminer, il existe les opérateurs logiques “AND” (“ET”) `&`, “OR” (“OR”) `|` et XOR (“OU Exclusif”) `^` pour les nombres. Ils sont similaire aux opérateurs de même nom que vous avez vu précédemment pour les booléens, sauf qu'ils s'appliquent sur chaque bit d'un nombre. Ainsi, le premier bit du résultat est calculé à partir du premier bit de chaque nombre, le deuxième bit du résultat à partir du deuxième bit de chaque nombre, et ainsi de suite. L'opération “OU exclusif” n'a pas d'équivalent avec les booléens, il correspond à vrai lorsque une seule de valeur est vrai, pas les deux.



Le code suivant permet de vérifier les différents opérateurs logique :

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::hex << std::showbase;
    std::cout << (0b1010 & 0b1100) << std::endl; // AND
    std::cout << (0b1010 | 0b1100) << std::endl; // OR
    std::cout << (0b1010 ^ 0b1100) << std::endl; // XOR
}
```

affiche :

```
0x8
0xe
0x6
```

Si on converti en binaire, on obtient :

```
0b1010 = 1 0 1 0
0b1100 = 1 1 0 0
0x8 =    1 0 0 0 // AND
0xe =    1 1 1 0 // OR
0x6 =    0 1 1 0 // XOR
```

On retrouve les tables logiques données pour les booléens :

a	b	~a	a & b	a | b	a ^ b
0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0

utilisation de mask avec opérateur logiques

Exercices

Les opérateurs arithmétiques

Dans un ordinateur, composé de transistors, ces derniers forment des portes logiques. Ces portes permettent de réaliser tous les calculs.

- pour 1 bit, réécrire l'addition avec les opérations logiques
- uniquement avec NAND
- pour 8 bits, idem

Chapitre précédent	Sommaire principal	Chapitre suivant

Cours, C++