Logique binaire et calcul booléen

La représentation en base 2, le binaire, possède une importance particulière en informatique. Vous avez vu dans les chapitres précédents que vous pouvez représenter les nombres entiers sous forme binaire (une suite de 0 et de 1) en utilisant le préfixe `0b`. Vous pouvez également écrire des valeurs booléennes en utilisant les mots-clés `true` (vrai) et `false` (faux).

Cette forme de logique est tellement importante qu'un chapitre complet lui est consacré (et vous reviendrez plusieurs fois sur ces notions durant le cours).

En électronique, il est facile de représenter des valeurs binaires en utilisant des tensions différentes. Par exemple, on va définir que l'état “vrai” sera représenté par une tension de +5V et l'état “faux” par une tension de 0V. (En pratique, les valeurs prises seront très variables selon les composants de l'ordinateur, mais le principe reste le même.)

Ces valeurs binaires utilisées en interne sont appelées “bits” et correspondent au plus petit élément d'information que peut manipuler un ordinateur. Tous les autres types de données (aussi bien les nombres que les chaînes de caractères) sont définis à partir d'une représentation interne en bits. Même les nombres binaires et les booléens que vous utilisez en C++ sont représentés par des bits dans l'ordinateur.

Il est possible en C++ de manipuler directement les représentations internes des valeurs, mais cela est beaucoup plus complexe et moins sécurisé que de manipuler les types du C++. Vous n'aurez besoin de faire cela que dans des cas très spécifiques (programmation de micro-contrôleur, optimisation bas niveau), mais vous verrez comment faire cela.

La notation des valeurs binaires “vrai” et “faux” est purement arbitraire. Vous pouvez définir que les valeurs binaires sont “haut” et “bas”, “droite”

et “gauche” ou n'importe quoi d'autre. Le plus important est que cela représente deux états différents. Dans du code C++, vous avez deux manières de représenter les valeurs binaires :

- avec 0 et 1, pour représenter un nombre entier ;
- avec `false` et `true`, pour représenter un booléen.

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).

Afficher une valeur booléenne

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

main.cpp

```
#include <iostream>

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

affiche :

```
false = false
```

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

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 logiques, qui prennent un ou deux booléens et retournent un nouveau booléen.

Faire des opérations arithmétiques sur les booléens ne provoquera pas d'erreur de compilation, vous pouvez donc écrire par exemple `true + 2`. La raison est que les valeurs booléennes sont représentées en interne par des nombres (généralement 0 et 1) et que cela a un sens, **pour l'ordinateur**, de faire ce type d'opération. Mais cela n'a pas de sens en termes de logique (quel sens pourrait-on donner à l'expression `true + 2` ?).

En C++, on utilisera les mots-clés `true` et `false`. Le respect des types est l'une des forces du C++, encore faut-il les utiliser correctement. Le C++ est un langage permissif, il autorisera à écrire `true + 2`, mais cela brisera la sémantique des booléens.

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

main.cpp

```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 opération 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
```

Il existe en théorie deux versions de la disjonction. L'opérateur `||` retourne vrai si les deux opérandes sont vraies, on dit que c'est un “OU inclusif”. Il faut donc comprendre le “OU” de la façon suivante : “le premier booléen est vrai OU le second booléen est vrai OU les deux sont vrais”.
La seconde version de la disjonction est le “OU exclusif” ou “XOR”. Dans ce cas, il faut prendre le “OU” au sens strict : “le premier booléen est vrai OU le second booléen est vrai, mais pas les deux en même temps”.

Il n'existe pas en C++ d'opérateur logique “Ou exclusif”, mais il est possible de le simuler avec les autres opérateurs.

Ces opérateurs peuvent être résumés dans un tableau (appelé table de vérité) :

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

Pour terminer, les opérateurs logiques du C++ fonctionnent en utilisant l'évaluation paresseuse (*lazy evaluation*). Cela permet d'évaluer les opérandes uniquement si nécessaire. Imaginons les opérations suivantes, dans lesquelles “expression complexe” est un code quelconque qui prend du temps pour être évalué :

```
a && (expression complexe)
b || (expression complexe)
```

Avec le tableau précédent, on peut remarquer que si `a` est faux, alors le résultat de `a && (expression complexe)` sera toujours faux, quelle que soit la valeur de `expression complexe`. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'évaluer “expression complexe”, puisque sa valeur ne change pas le résultat.

De la même façon, si `b` est vrai dans la seconde expression, le résultat de `b || (expression complexe)` sera toujours vrai quelle que soit la valeur de `expression complexe`, il n'est pas nécessaire d'évaluer `expression complexe`.

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 de

combiner des tests simples pour former des tests plus complexes, voire très complexes.

Une 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 À” `==` permet de tester si deux valeurs sont égales ;
- l'opérateur “EST DIFFÉRENT DE” `!=` 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 comparaisons sur les chaînes de caractères sont possibles, mais nécessitent quelques précautions. Vous verrez cela en détail dans le chapitre sur les chaînes (lequel ?).
Comme le langage C++ est permissif, la comparaison de valeurs de types différents ne produira pas forcément une erreur de compilation. Par exemple comparer un entier et un caractère :

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha << ('a'  < 42) << std::endl;
}
```

Par contre, cela n'a pas de sens en termes de sémantique (comme on dit, on ne compte pas ensembles 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 types différents en utilisant les opérateurs logiques :

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha << (('a'  < 'z') && (123 >= 456)) << std::endl;
}
```

Exercices

- Evaluer le résultat de ces expressions (à la main, pas avec du code) :

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

- Un OU Exclusif correspond à la table de vérité suivante.

a	b	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Dans le code suivant, replacer `@@@@` par une expression n'utilisant que les valeurs `a` et `b` et les opérateurs logiques `&&`, `||` et `!`, de façon à reproduire la table de vérité précédente.

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

bool eval(bool a,bool b) {
    return (@@@@);
}
```

```
int main() {
    std::cout << std::noboolalpha;
    std::cout << "|  a  |  b  |  XOR   " << std::endl;
    std::cout << "|  0  |  0  |   " << eval(false, false) <<
std::endl;
    std::cout << "|  0  |  1  |   " << eval(false, true)  <<
std::endl;
    std::cout << "|  1  |  0  |   " << eval(true,  false) <<
std::endl;
    std::cout << "|  1  |  1  |   " << eval(true,  true)  <<
std::endl;
}
```

Représentation binaire des entiers

Comme vous l'avez vu dans les chapitres précédents, la façon dont vous écrivez un nombre dans le code et la façon dont il est affiché dans la console sont indépendants. Par défaut, l'écriture d'un nombre et son affichage se font en utilisant la base 10 (décimal), mais vous pouvez changer la base lors de l'écriture en utilisant un préfixe (`0b`, `0` et `0x`) et lors de l'affichage en utilisant une directive (`std::oct`, `std::dec` et `std::hex`).

main.cpp

```
#include <iostream>

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

affiche :

```
42
0x2a
```

Il n'existe pas de directive pour afficher les nombres directement en binaire, on utilise souvent à la place la représentation hexadécimale. La

raison est qu'il est relativement facile de faire la conversion entre hexadécimal 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 `0x2a` en binaire, vous devez prendre le premier chiffre (`2`), le convertir en binaire (`0010`), puis faire la même chose avec le second “chiffre” (`a`), ce qui donne `1010`). La représentation binaire finale est donc `0b00101010`.

Il est quand même possible d'afficher la représentation binaire d'un nombre, en utilisant la classe `std::bitset`. Cette classe sera étudiée en détail dans un chapitre Complément, mais pour le moment, vous pouvez utiliser la sytnaxe :

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <bitset>

int main() {
    std::cout << "0b" << std::bitset<8>(0b101010) << std::
endl;
    std::cout << "0b" << std::bitset<8>(42) << std::endl;
}
```

affiche :

```
0b00101010
0b00101010
```

Le chiffre 8 correspond au nombre de bits à utiliser, pensez à l'adapter si vous utilisez des nombres entiers plus grands. Et n'oubliez pas la directive d'inclusion `bitset`.

Comme cela a été expliqué au début du chapitre, toutes les valeurs que manipule un ordinateur sont en fait codées en interne en binaire. Cet encodage en binaire dans la mémoire de l'ordinateur est appelée *représentation binaire*. Vous n'aurez généralement pas besoin de manipuler directement les valeurs sous forme binaire, mais cette représentation est suffisamment importante pour que cela soit détaillé ici.

La conversion des nombres entiers décimaux positifs en binaire est relativement simple. Pour les autres types de données (valeurs entières négatives, nombres réels, chaînes de caractères, etc.), la conversion n'est pas aussi simple et naturelle. Il existe en fait différentes normes de conversion, qui expliquent comment convertir une valeur d'un type donné en sa représentation binaire. Et il existe souvent plusieurs normes pour un même type de données.

Un exemple classique de normalisation d'encodage concerne les caractères. Vous verrez qu'il existe des normes telles que “ASCII”, “Windows-1252” ou “UTF-8”. Au final, il existe des centaines de formes différentes d'encodage.

Un point important à comprendre avec l'encodage : une même valeur pourra donner différentes représentations binaires, selon l'encodage utilisé. Et une même valeur binaire en mémoire pourra être représentée par différentes valeurs, de différents types, selon l'encodage utilisé. Ainsi, il est tout à fait possible de “convertir” un nombre réel en caractère en passant par une représentation binaire, mais cela n'aura généralement pas de sens.
Heureusement, le compilateur vérifie les types que l'on utilise lorsque l'on fait des conversions, pour que cela conserve un sens. Il faudra juste

faire attention de ne pas empêcher le compilateur de faire son travail. Mais nous reviendrons là dessus plus tard.

Une séquence de 8 bits (ou de 2 chiffres hexadécimaux, c'est équivalent) est appelée un octet (1 o), 1024 o donnent 1 kibi-octet (1 Kio), 1024 Kio donnent 1 mébi-octet (1 Mio), 1024 Mio donnent 1 gibi-octet (1 Gio) et 1024 Gio donnent 1 tebi-octet (1 Tio).

Vous rencontrerez souvent une notation un peu différente, utilisant les préfixes du système métrique : kilo-, méga-, giga- et téra-. Généralement, ces suffixes seront équivalents, c'est-à-dire seront basé sur un rapport de 1 à 1024 entre deux unités de grandeur.
Cependant, avec le système métrique, le rapport devrait être de 1000 au lieu de 1024 et certains utilisent volontairement cette différence pour maintenir une ambiguïté chez le lecteur. Voir Préfixe binaire pour plus de détail.

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
```

Notez bien que ces opérations donnent le même résultat que si vous aviez écrit les nombres en représentation binaire. Par exemple, pour la division :

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 0b1001 << std::endl;
    std::cout << 0b0010 << std::endl;
    std::cout << 9 / 2  << std::endl;
    std::cout << 0b1001 / 0b0010 << std::endl;
}
```

affiche :

```
9
2
4
4
```

Exos : faire une addition et une multiplication binaire “à la main”.

main.cpp

```cpp
#include <iostream>
#include <bitset>

int main() {
    std::cout << "  " << std::bitset<8>(0b0100100) << std::
endl;
    std::cout << "+ " << std::bitset<8>(0b0101001) << std::
```

```
endl;
    std::cout << "  --------" << std::endl;
    std::cout << "= " << std::bitset<8>(0b0100100 +
0b0101001) << std::endl;
}
```

affiche :

```
  00100100
+ 00101001
  --------
= 01001101
```

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 des 1 et les 1 deviennent des 0). Par exemple :

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <bitset>

int main() {
    std::cout << " ~" << std::bitset<8>( 0b0100100) << std::
endl;
    std::cout << "= " << std::bitset<8>(~0b0100100) << std::
endl;
    std::cout << std::endl;
    std::cout << " ~" << std::bitset<8>( 0b1001011) << std::
endl;
    std::cout << "= " << std::bitset<8>(~0b1001011) << std::
endl;
}
```

affiche :

```
 ~00100100
= 11011011

 ~01001011
= 10110100
```

Si vous n'utilisez pas `std::bitset`, mais affichez en héxadécimal, le résultat est un peu différent :

main.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::showbase << std::hex;
    std::cout <<  0b1 << std::endl;
    std::cout << ~0b1 << std::endl;
    std::cout << std::endl;
    std::cout <<  0b0110011 << std::endl;
    std::cout << ~0b0110011 << std::endl;
}
```

affiche :

```
0x1
0xfffffffe

0x33
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
```

ajouter un schéma, comme pour les opérateurs suivants

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 manquants devant le nombre sont ajoutés avant l'opération.

Cela signifie qu'en interne, ces nombres entiers sont représentés par défaut sur 32 bits (4 octets), *quelque soit le nombre de bits utilisés pour les écrire*.

On pourrait penser que c'est du gâchis de mémoire d'utiliser 32 bits pour la représentation interne, alors que l'on écrit des nombres de 1 ou 6 bits. La raison est qu'un ordinateur est optimisé pour travailler avec des représentations de taille déterminée (généralement 32 ou 64 bits pour les ordinateurs de bureau). Le compilateur C++ adapte donc le nombre de bits en fonction de ce qui est le plus optimal pour l'ordinateur, mais il est possible de forcer l'utilisation de représentations de taille spécifique. Vous verrez cela dans un prochain chapitre.

Le décalage de bits

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

```
#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 << std::endl;
    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 opérateurs 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 signifier des choses différentes selon le contexte.

affiche :

```
0x1b0
0x360

0x6c
0x36
```

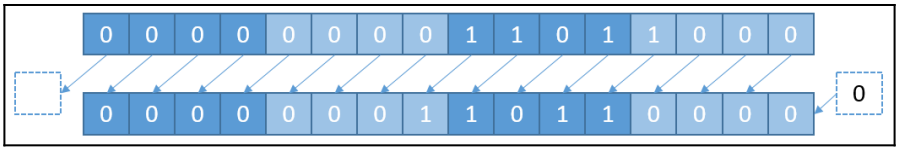
Affichons les valeurs en binaire et alignons les pour mieux comprendre :

```
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 :

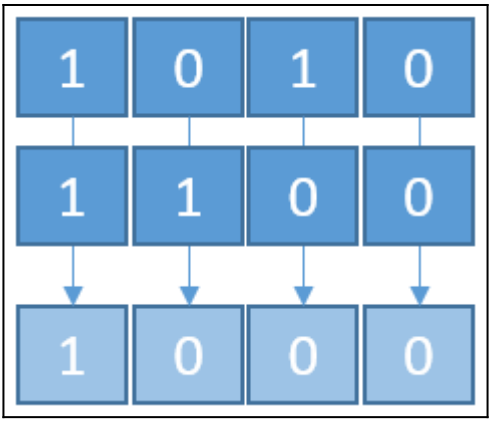
- que la séquence de 0 et de 1 est identique ;
- qu'elle est décalée de 1 bit vers la gauche ;
- qu'un 0 est inséré à droite ;
- que le 0 à gauche est perdu.

Exos : comparer les 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” (“OU”) `|` et XOR (“OU Exclusif”) `^` pour les nombres. Ils sont similaires 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'opérateur “OU exclusif” n'a pas d'équivalent pour les booléens, pour rappel il retourne vrai lorsque l'une des opérandes est vraie, mais pas les deux.

Par exemple, pour l'opérateur “AND”, on aura le schéma suivant :



Le code suivant permet de vérifier les différents opérateurs logique :

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <bitset>

int main() {
    std::cout << "   " << std::bitset<8>(0b1010) << std::endl;
    std::cout << "   " << std::bitset<8>(0b1100) << std::endl;
    std::cout << "  --------" << std::endl;
    std::cout << "& " << std::bitset<8>(0b1010 & 0b1100) <<
std::endl; // AND
    std::cout << "| " << std::bitset<8>(0b1010 | 0b1100) <<
std::endl; // OR
    std::cout << "^ " << std::bitset<8>(0b1010 ^ 0b1100) <<
std::endl; // XOR
}
```

affiche :

```
  00001010
  00001100
  --------
& 00001000
| 00001110
^ 00000110
```

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

Chapitre précédent | Sommaire principal | Chapitre suivant