

# Les nombres réels

Vous avez vu dans les chapitres précédents comment écrire et manipuler les nombres entiers. Et vous avez vu que le C++ faisait la distinction entre les nombres entiers (nombres “sans virgules”) et les nombres réels (nombre “avec virgule”). En particulier, lors d'une division, le résultat est totalement différent selon le type de nombre.

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
```

Pour faire des calculs mathématiques, les nombres entiers ne seront généralement pas suffisant. Par exemple, si vous souhaitez calculer la circonférence d'un cercle à partir de son diamètre, il faudra multiplier celui-ci par le nombre Pi, qui vaut environ 3,14159265358979323846264338327950288... Ces types de nombres et de calculs ne peuvent pas être réalisés avec des nombres entiers, il faudra donc utiliser des nombres conçus spécialement dans ce but : les nombres à virgule flottante (*floating-point numbers*), que l'on appelle aussi nombres réels.

## Écrire des nombres réels

Les nombres à virgule flottante sont donc simplement des nombres qui s'écrivent avec des chiffres après la virgule, comme par exemple Pi.

Un rappel important : en français, les nombres réels sont écrit avec une virgule (*comma* en anglais). Le C++ est basé sur l'anglais, il utilise donc le point comme séparateur décimal. La virgule ayant un sens spécifique en C++, vous n'aurez peut être pas de message si vous faites l'erreur. Faites donc attention sur ce point.

À partir de là, l'écriture de nombres réels est relativement simple, par exemple pour écrire quelques [constantes de physique](#) :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Pi = " << 3.1415926535 << std::endl;
    std::cout << "Nombre d'or = " << 1.6180339887 << std::
endl;
    std::cout << "Vitesse de la lumière = " << 299792.458 << "
km/s" << std::endl;
}
```

affiche :

```
Pi = 3.14159
Nombre d'or = 1.61803
Vitesse de la lumière = 299792 km/s
```

Comme pour les nombres entiers, il est possible d'utiliser le guillemet droit simple ' pour faciliter la lecture des nombres contenant beaucoup de chiffres. Par convention, on écrit séparé généralement en bloc de 3 chiffres :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
```

```
std::cout << "Pi = " << 3.141'592'653'5 << std::endl;
std::cout << "Nombre d'or = " << 1.618'033'988'7 <<
std::endl;
std::cout << "Vitesse de la lumière = " << 299'792.458
<< " km/s" << std::endl;
}
```

Lorsque la partie entière (la partie à gauche du point) ou la partie décimale (à droite du point) d'un nombre ne contient que des zéros, il est possible de ne pas les écrire. Par exemple, "0.123" est équivalent à ".123" et "123.0" est équivalent à "123.". Mais faites attention de ne pas oublier le point, sinon cela correspondra à un nombre entier :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 0.123 << " = " << .123 << std::endl;
    std::cout << 123.0 << " = " << 123. << std::endl;
    std::cout << (123. / 5.) << " != " << (123 / 5) << std::
endl;
}
```

ce qui affiche :

```
0.123 = 0.123
123 = 123
24.6 != 24
```

Cependant, il faut se rappeler qu'un code sera plus souvent lu qu'écrit et il n'y a aucun intérêt à faire l'économie d'un caractère. Il est donc préférable d'écrire quand même les chiffres zéro pour la lisibilité. C'est ce que l'on fera systématiquement dans ce cours.

## Notation scientifique

Pour Pi ou la vitesse de la lumière  $c$ , cela ne pose pas de problème de les écrire comme présenté au-dessus. Par contre, si l'on souhaite écrire par

exemple la constante de perméabilité magnétique du vide  $\mu_0$ , il faudra écrire :

```
std::cout << "Perméabilité magnétique du vide = " <<  
    0.000'001'256'637'061'4 << " kg.m/A²/s²" << std::endl;
```

Ce qui commence à faire beaucoup de zéro. Si on veut écrire la constante de Planck, c'est encore plus compliqué : il faut écrire 34 zéro après le séparateur décimal. On ne va pas le faire, cela devient trop compliqué. Heureusement, le C++ prend en charge la notation scientifique des nombres réels.

La notation scientifique consiste à écrire un nombre sous la forme :

\$\$ mantisse \times 10 ^ { exposant } \$\$

La mantisse (*mantissa* ou *significand* en anglais) est un nombre réel positif ou négatif et l'exposant (*exponent* en anglais) est un nombre entier positif ou négatif.

Pour obtenir la notation scientifique d'un nombre, il faut multiplier ou diviser ce nombre plusieurs fois par 10, jusqu'à obtenir un nombre supérieur ou à égal à 1 et strictement inférieur à 10. Le résultat est la mantisse, le nombre de fois que l'on a multiplié ou divisé par 10 est l'exposant.

Par exemple, si on prend le nombre 0.000123. On peut écrire :

```
0.000123 * 10 = 0.00123  
0.00123 * 10 = 0.0123  
0.0123 * 10 = 0.123  
0.123 * 10 = 1.23
```

Il faut donc multiplier 4 fois 0.000123 par 10 pour obtenir 1.23. Le nombre 0.000123 peut donc s'écrire :

\$\$ 1.23 \times 10 ^ { -4 } \$\$

Pour écrire un nombre en C++ en utilisant cette notation, il faut ajouter l'exposant après le caractère "e" ou "E" dans l'écriture d'un nombre. Par

exemple :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Perméabilité magnétique du vide = " <<
        1.256'637'061'4e-6 << " kg.m/A²/s²" << std::endl;
    std::cout << "Constante de Planck = " << 6.626'069
        '57e-34 << " kg.m²/s" << std::endl;
}
```

affiche :

```
Perméabilité magnétique du vide = 1.25664e-06 kg.m/A²/s²
Constante de Planck = 6.62607e-34 kg.m²/s
```

Un dernier point sur la notation scientifique. Si vous écrivez :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 123456789.0e10 << std::endl;
    std::cout << 0.0000000123456789e-10 << std::endl;
}
```

cela affichera :

```
1.23457e+18
1.23457e-18
```

On peut remarquer deux points sur le résultat affiché :

- la fin des chiffres (le 8 et le 9) ne sont pas affichés. On verra cette problématique dans la partie suivante, sur la mise en forme de l'affichage des nombres réels.
- les exposants utilisés ont été modifiés automatiquement lors de l'affichage.

C'est un point fondamental en informatique : la façon dont les données sont affichées ne correspond pas forcément à comment elles sont manipulées en interne (représentation binaire). C'est valable pour les nombres, mais également n'importe quel type de données.

## Mettre en forme la sortie

Il est possible de changer l'affichage des nombres entiers avec `std::cout` en utilisant des directives. Il existe également des directives pour modifier l'affichage des nombres réels.

La première chose que vous allez pouvoir modifier est l'utilisation de la notation scientifique ou non. La directive `std::scientific` force l'affichage en notation scientifique, `std::fixed` force l'affichage sans notation scientifique et `std::defaultfloat` affiche en utilisant la notation par défaut.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Pi" << std::endl;
    std::cout << " Notation scientifique : " << std::
scientific << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << " Notation fixe : " << std::fixed
<< 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << " Notation par défaut : " << std::
defaultfloat << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << std::endl;

    std::cout << "Constante de Planck" << std::endl;
    std::cout << " Notation scientifique : " <<
std::scientific << 6.626'069'57e-34 << std::endl;
    std::cout << " Notation fixe : " << std::fixed
<< 6.626'069'57e-34 << std::endl;
    std::cout << " Notation par défaut : " <<
std::defaultfloat << 6.626'069'57e-34 << std::endl;
}
```

affiche :

```
Pi
Notation scientifique : 3.141593e+00
Notation fixe :      3.141593
Notation par défaut : 3.14159

Constante de Planck
Notation scientifique : 6.626070e-34
Notation fixe :      0.000000
Notation par défaut : 6.62607e-34
```

Notez bien que ces directives ne s'appliquent qu'aux nombres réels. Si vous écrivez un nombre entier, celui ne sera pas affiché en notation scientifique :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::scientific << 3.0 << std::endl;
    std::cout << std::scientific << 3 << std::endl;
}
```

affiche :

```
3.000000e+00
3
```

N'oubliez jamais ce point fondamental : le C++ est un langage de programmation à typage fort, les types ont une importance particulière.

Même si `3`, `3.0`, `"3"` et `'3'` représente la même chose pour vous (le chiffre 3), ces valeurs ont des types différents (respectivement un nombre entier, un nombre réel, une chaîne de caractères et un caractère) et s'utilisent différemment en C++.

La directive `std::showpos` permet d'afficher le signe plus devant les

nombre positifs et la directive `std::noshowpos` permet de ne pas l'afficher.

La directive `std::showpoint` permet d'afficher le séparateur décimal et ajoute le nombre de zéros nécessaires après le séparateur décimal pour atteindre le nombre de chiffres fixés par la directive `std::setprecision` décrite plus bas. La directive `std::noshowpoint` permet de ne pas afficher le séparateur décimal pour les nombres dont la partie décimale est nulle.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::showpos << 123.456 << std::endl;
    std::cout << std::showpos << 0.123 << std::endl;
    std::cout << std::showpos << 123.0 << std::endl;
    std::cout << std::noshowpos << 123.456 << std::endl;
    std::cout << std::endl;

    std::cout << std::showpoint << 123.0 << std::endl;
    std::cout << std::noshowpoint << 123.0 << std::endl;
}
```

affiche :

```
+123.456
+0.123
+123
123.456

123.000
123
```

Pour terminer, la directive `std::setprecision` permet de définir le nombre de chiffre significatif à afficher (donc sans compter les zéro au début et à la fin des nombres réels). Cette directive prend un nombre entier en paramètre, correspondant aux nombres de chiffres à afficher.

Cette directive est disponible dans le fichier d'en-tête `iomanip`, il faut



donc l'inclure au début du programme avec la directive de préprocesseur `#include` :

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <iomanip>

int main() {
    std::cout << "Pi (défaut) = " << 3.141'592'653'5 <<
std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 0) = " <<
std::setprecision(0) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 1) = " << std::setprecision(
1) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 2) = " <<
std::setprecision(2) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 5) = " << std::setprecision(
5) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 10) = " <<
std::setprecision(10) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 30) = " << std::setprecision
(30) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (précision 200) = " <<
std::setprecision(200) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
    std::cout << "Pi (valeur invalide) = " << std:::
setprecision(-1) << 3.141'592'653'5 << std::endl;
}
```

affiche :

```
Pi (défaut) = 3.14159
Pi (précision 0) = 3
Pi (précision 1) = 3
Pi (précision 2) = 3.1
Pi (précision 5) = 3.1416
Pi (précision 10) = 3.141592654
Pi (précision 30) = 3.14159265350000005412312020781
Pi (précision 200) =
3.1415926535000000541231202078051865100860595703125
Pi (valeur invalide) = 3.14159
```

Vous pouvez remarquer que si vous définissez une précision supérieure au nombre de chiffre que vous avez écrit dans votre littérale (par exemple 30 dans le code précédent), alors `std::cout` affichera des chiffres incorrectes à la fin de votre nombre.

Si vous définissez une valeur très grande (200 dans le code précédent), alors le nombre de chiffres affichés sera limité à 50 maximum (le nombre maximal de chiffres peut varier selon le compilateur et le système).

Pour terminer, si vous définissez une valeur négative, alors `std::cout` affiche de nouveau les nombres en utilisant la précision par défaut (6 chiffres dans l'exemple précédent).

## Opérateurs arithmétiques

Comme pour les nombres entiers, il est possible de réaliser des calculs arithmétiques avec les nombres réels : addition `+`, soustraction `-`, multiplication `*` et division `/` (n'oubliez pas la différence entre division entière et réelle). L'opérateur modulo n'a pas de sens pour les nombres réels.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Addition : " << 12.34 + 56.78 << std::endl;
    std::cout << "Soustraction : " << 12.34 - 56.78 << std::endl;
    std::cout << "Multiplication: " << 12.34 * 56.78 << std::endl;
    std::cout << "Division : " << 12.34 / 56.78 << std::endl;
}
```

affiche :

```
Addition : 69.12
Soustraction : -44.44
Multiplication: 700.665
```

Division : 0.21733

De la même manière, vous pouvez utiliser les opérateurs de comparaison présentés dans le chapitre sur les entiers : est égale `==`, est différent `!=`, est supérieur `>`, est supérieur ou égal `>=`, est inférieur `<`, est inférieur ou égal `<=`.

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "Est égale : " << (12.34 == 56.78) << std::
endl;
    std::cout << "Est différent : " << (12.34 != 56.78) <<
std::endl;
    std::cout << "Est supérieur : " << (12.34 > 56.78) <<
std::endl;
    std::cout << "Est supérieur ou égal : " << (12.34 >=
56.78) << std::endl;
    std::cout << "Est inférieur : " << (12.34 < 56.78) <<
std::endl;
    std::cout << "Est inférieur ou égal : " << (12.34 <=
56.78) << std::endl;
}
```

affiche :

```
Est égale : false
Est différent : true
Est supérieur : false
Est supérieur ou égal : false
Est inférieur : true
Est inférieur ou égal : true
```

## Egalité de nombres réels et epsilon

Encore une fois, il faut insister sur un point très important : ce qui est affiché ne correspond pas forcément à ce qu'il y a en mémoire. Par

exemple :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 3.000000000000001 << std::endl;
    std::cout << 3.0000000000000001 << std::endl;
}
```

affiche :

```
3
3
```

Si vous utilisez l'opérateur d'égalité sur ces nombres, vous aurez peut-être des surprises :

main.cpp

```
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << 3 << " est égal à " << 3.000000000000001 << "
? "
        << std::boolalpha << (3 == 3.000000000000001) <<
std::endl;
    std::cout << 3 << " est égal à " << 3.0000000000000001
<< " ? "
        << std::boolalpha << (3 == 3.0000000000000001)
<< std::endl;
}
```

affiche :

```
3 est égal à 3 ? false
3 est égal à 3 ? true
```

Les nombres 3, 3.000000000000001 et 3.0000000000000001 sont affichés de la même façon (ce qui est normal, si vous vous souvenez du rôle de `std::setprecision`). Par contre, le résultat du test d'égalité change aussi, ce qui est plus surprenant.

Dans le premier cas, 3.00000000000001 est effectivement enregistré en mémoire comme différent de 3. Le test d'égalité échoue puisque l'ordinateur sait que ces nombres sont différents (même s'il affiche le même nombre). Dans le second cas, le nombre dépasse les capacités de l'ordinateur (plus précisément la façon dont les nombres sont enregistrés en mémoire). En effet, le nombre est arrondi en mémoire à 3 donc le test d'égalité n'échoue pas.

Il est facile de voir ici que les nombres entrés sont différents. Mais imaginez que vous réalisez des calculs scientifiques complexes. Cela pourrait générer des nombres qui semblent identiques (à l'affichage), mais qui sont en fait différents.

Pour éviter cela, on ne compare pas directement l'égalité de deux nombres réels en général. On va considérer que deux nombres sont égaux s'ils sont suffisamment proche, compte tenu d'une éventuelle erreur de précision. Dit autrement, il y a égalité si la valeur absolue de la différence entre les deux nombres est inférieure à une certaine erreur de précision maximale appelée *epsilon* (nous reviendrons sur la valeur absolue plus tard).

```
std::abs(nombre1 - nombre2) < epsilon
```

Epsilon sera choisie en fonction du type de calculs que vous réalisez, de la précision des nombres, de l'ordinateur, etc. Bref, elle va dépendre du contexte.

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <cmath>

int main() {
    std::cout << 3 << " est égal à " << 3.00000000000001 << "
? "
        << std::boolalpha << (std::abs(3 -
3.00000000000001) < 0.0001) << std::endl;
    std::cout << 3 << " est égal à " << 3.00000000000000001
<< " ? "
        << std::boolalpha << (std::abs(3 -
```

```
3.0000000000000001) < 0.0001) << std::endl;  
}
```

affiche :

```
3 est égal à 3 ? true  
3 est égal à 3 ? true
```

## Infini et pas-un-nombre

Vous avez vu dans le chapitre sur les entiers que la division par zéro produisait un *undefined behavior* (comportement indéterminé en français). Essayons le même code en utilisant des nombres réels :

main.cpp

```
#include <iostream>  
  
int main() {  
    std::cout << "1.0 / 0.0 = " << (1.0 / 0.0) << std::endl;  
}
```

affiche :

```
1.0 / 0.0 = inf
```

Contrairement à la division sur les nombres entiers, la division sur les nombres réels ne produit pas un comportement indéterminé. Le résultat affiché "inf" signifie *infinity* (infini en français), ce qui a un sens au niveau mathématique.

Si on modifie le code pour calculer la division de 0 par 0 :

main.cpp

```
#include <iostream>  
  
int main() {  
    std::cout << "0.0 / 0.0 = " << (0.0 / 0.0) << std::endl;  
}
```

on obtient :

```
0.0 / 0.0 = nan
```

Le résultat affiché “nan” signifie *not-a-number* (pas-un-nombre en français). Ce résultat est obtenu lorsqu'un calcul n'a pas de sens mathématique. Mais du point de vue du C++, cela n'est pas une erreur (au sens d'erreur de calcul ou d'exécution).

Ces deux valeurs particulières “inf” et “nan” sont parfaitement définies en C++. Pour les écrire directement vous pouvez utiliser les macros `INFINITY` et `NAN` définies dans le fichier d'en-tête `cmath` :

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <cmath>

int main() {
    std::cout << "Infini : " << INFINITY << std::endl;
    std::cout << "Pas-un-nombre : " << NAN << std::endl;
}
```

affiche :

```
Infini : inf
Pas-un-nombre : nan
```

Cependant, dans la majorité des cas, vous aurez plus souvent besoin de vérifier qu'un calcul ne produit pas une de ces valeurs. Pour cela, vous pouvez utiliser une des fonctions suivantes :

- `std::isinf()` pour tester si une valeur est infinie ;
- `std::isnan()` pour tester si une valeur est pas-un-nombre ;
- `std::isfinite()` pour tester si une valeur est finie, c'est-à-dire qu'elle n'est ni infinie, ni pas-un-nombre.

Ces fonctions sont également définies dans le fichier d'en-tête `cmath`, il faut donc l'inclure dans votre code.

main.cpp

```

#include <iostream>
#include <cmath>

int main() {
    std::cout << std::boolalpha;
    std::cout << "isinf(1.0 / 1.0) = " << std::isinf(1.0 /
1.0) << std::endl;
    std::cout << "isinf(0.0 / 1.0) = " << std::isinf(0.0 /
1.0) << std::endl;
    std::cout << "isinf(1.0 / 0.0) = " << std::isinf(1.0 /
0.0) << std::endl;
    std::cout << "isinf(0.0 / 0.0) = " << std::isinf(0.0 /
0.0) << std::endl;

    std::cout << std::endl;
    std::cout << "isnan(1.0 / 1.0) = " << std::isnan(1.0 /
1.0) << std::endl;
    std::cout << "isnan(0.0 / 1.0) = " << std::isnan(0.0 /
1.0) << std::endl;
    std::cout << "isnan(1.0 / 0.0) = " << std::isnan(1.0 /
0.0) << std::endl;
    std::cout << "isnan(0.0 / 0.0) = " << std::isnan(0.0 /
0.0) << std::endl;

    std::cout << std::endl;
    std::cout << "isfinite(1.0 / 1.0) = " << std::isfinite(
1.0 / 1.0) << std::endl;
    std::cout << "isfinite(0.0 / 1.0) = " << std::isfinite(
0.0 / 1.0) << std::endl;
    std::cout << "isfinite(1.0 / 0.0) = " << std::isfinite(
1.0 / 0.0) << std::endl;
    std::cout << "isfinite(0.0 / 0.0) = " << std::isfinite(
0.0 / 0.0) << std::endl;
}

```

affiche :

```

isinf(1.0 / 1.0) = false
isinf(0.0 / 1.0) = false
isinf(1.0 / 0.0) = true
isinf(0.0 / 0.0) = false

```



```
isnan(1.0 / 1.0) = false
isnan(0.0 / 1.0) = false
isnan(1.0 / 0.0) = false
isnan(0.0 / 0.0) = true

isfinite(1.0 / 1.0) = true
isfinite(0.0 / 1.0) = true
isfinite(1.0 / 0.0) = false
isfinite(0.0 / 0.0) = false
```

## Les fonctions mathématiques

Pour terminer avec l'utilisation de base des nombres réels, le C++ propose de nombreuses fonctions mathématiques usuelles, comme le calcul des puissances et des racines ou les fonctions trigonométriques. Nous n'allons pas toutes les voir dans ce chapitre, elles ne présentent pas de difficultés particulières d'utilisation. Ces fonctions sont définies dans le fichier d'en-tête `cmath`, vous trouverez la totalité des fonctions dans la documentation : [Common mathematical functions](#).

Voici quelques exemples d'utilisation :

main.cpp

```
#include <iostream>
#include <cmath>

int main() {
    std::cout << "Fonctions basiques" << std::endl;
    std::cout << "valeur absolue : " << std::fabs(-1.0) <<
std::endl;
    std::cout << "minimum : " << std::fmin(1.0, 2.0) << std
::endl;
    std::cout << "maximum : " << std::fmax(1.0, 2.0) << std
::endl << std::endl;

    std::cout << "Fonctions exponentielles et logarithmiques"
<< std::endl;
    std::cout << "exponentielle naturelle : " << exp(1.0) <<
std::endl;
```

```

    std::cout << "logarithme naturel : " << log(1.0) << std
::endl;
    std::cout << "logarithme décimal : " << log10(1.0) <<
std::endl << std::endl;

    std::cout << "Fonctions puissances" << std::endl;
    std::cout << "puissance : " << pow(2.0, 3.0) << std::
endl;
    std::cout << "racine carrée : " << sqrt(2.0) << std::
endl;
    std::cout << "racine cubique : " << cbrt(2.0) << std::
endl << std::endl;

    std::cout << "Fonctions trigonométriques" << std::endl;
    std::cout << "sinus : " << sin(1.0) << std::endl;
    std::cout << "cosinus : " << cos(1.0) << std::endl;
    std::cout << "tangente : " << tan(1.0) << std::endl;
    std::cout << "arc sinus : " << asin(1.0) << std::endl;
    std::cout << "arc cosinus : " << acos(1.0) << std::endl;
    std::cout << "arc tangente : " << atan(1.0) << std::endl
<< std::endl;

    std::cout << "Fonctions trigonométriques hyperboliques"
<< std::endl;
    std::cout << "sinus hyperbolique : " << sinh(1.0) << std
::endl;
    std::cout << "cosinus hyperbolique : " << cosh(1.0) <<
std::endl;
    std::cout << "tangente hyperbolique : " << tanh(1.0) <<
std::endl;
    std::cout << "argument sinus hyperbolique : " << asinh(
1.0) << std::endl;
    std::cout << "argument cosinus hyperbolique : " << acosh
(1.0) << std::endl;
    std::cout << "argument tangente hyperbolique : " <<
atanh(1.0) << std::endl << std::endl;

    std::cout << "Fonctions partie entière" << std::endl;
    std::cout << "partie entière par défaut : " << floor(1.3)
<< std::endl;
    std::cout << "partie entière par excès : " << ceil(1.3)
<< std::endl;

```

```
std::cout << "troncature : " << trunc(1.3) << std::endl;  
std::cout << "arrondi : " << round(1.3) << std::endl;  
}
```

affiche :

Fonctions basiques

valeur absolue : 1

minimum : 1

maximum : 2

Fonctions exponentielles et logarithmiques

exponentielle naturelle : 2.71828

logarithme naturel : 0

logarithme décimal : 0

Fonctions puissances

puissance : 8

racine carrée : 1.41421

racine cubique : 1.25992

Fonctions trigonométriques" << std::endl;

sinus : 0.841471

cosinus : 0.540302

tangente : 1.55741

arc sinus : 1.5708

arc cosinus : 0

arc tangente : 0.785398

Fonctions trigonométriques hyperboliques

sinus hyperbolique : 1.1752

cosinus hyperbolique : 1.54308

tangente hyperbolique : 0.761594

argument sinus hyperbolique : 0.881374

argument cosinus hyperbolique : 0

argument tangente hyperbolique : inf

Fonctions partie entière

partie entière par défaut : 1

partie entière par excès : 2

troncature : 1

arrondi : 1

|                                    |                                    |                                  |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <a href="#">Chapitre précédent</a> | <a href="#">Sommaire principal</a> | <a href="#">Chapitre suivant</a> |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|

Cours, C++