Introduction à C++ 2011

Xavier JUVIGNY

ONERA

January 23, 2018

Plan du cours

Prérequis et finalité du cours

Prérequis

- Une bonne expérience en programmation
- Si possible, une notion du langage C

Finalité du cours

- Connaître les concepts fondamentaux de la programmation structurée, procédurale, objet et fonctionelle
- Maîtriser les concepts d'interface, d'encapsulation et de reutilisabilité;
- Avoir une notion d'optimisation du code et de la conception relativement complexe de classes;
- Comprendre un programme C++ relativement complexe;
- Comprendre la programmation par template;
- Connaître les services proposés par la bibliothèque standard du C++.

le C++ en résumé

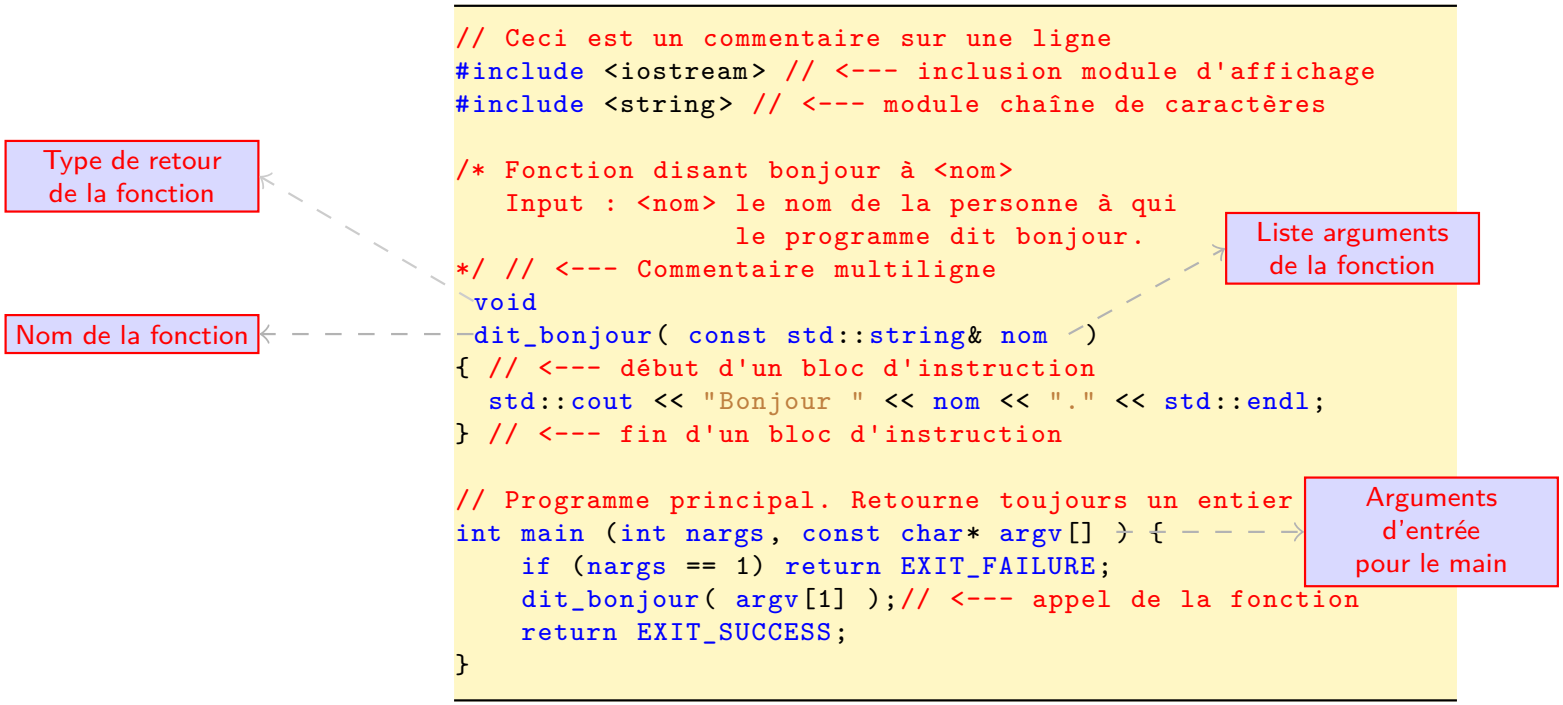
Historique

- **1969** : Unix DEC PDP-7, langage B issu de BCPL;
- **1972** : Portage d'Unix sur DEC PDP-11 : langage C;
- **1980** : C++, dérivé du C, inspiré de **Simula67** et **Algol68**;
- **1998** : Première normalisation du C++ par l'ISO
- **2011** : 2^e normalisation : refonte du langage
- **2014** : 3^e normalisation : corrections mineures
- **2017** : 4^e normalisation : politiques d'exécutions, ...;
- **2020** : 5^e normalisation en cours de proposition.

Paradigmes du C++

- Langage : orienté objet, structuré, procédural, fonctionnel, universel.

Aperçu du langage




```
// Ceci est un commentaire sur une ligne
#include <iostream> // <--- inclusion module d'affichage
#include <string> // <--- module chaîne de caractères

/* Fonction disant bonjour à <nom>
   Input : <nom> le nom de la personne à qui
                 le programme dit bonjour.
*/ // <--- Commentaire multiligne
 void
 dit_bonjour( const std::string& nom )
{ // <--- début d'un bloc d'instruction
  std::cout << "Bonjour " << nom << "." << std::endl;
} // <--- fin d'un bloc d'instruction

// Programme principal. Retourne toujours un entier
int main (int nargs, const char* argv[] ) {
    if (nargs == 1) return EXIT_FAILURE;
    dit_bonjour( argv[1] );// <--- appel de la fonction
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Syntaxe de base

- Toutes les instructions finissent par un ;
- Le début et la fin d'une fonction (dont le main) sont encadrées par {}
- Un exécutable doit toujours définir un `main` mais par une bibliothèque
- Une fonction peut ne rien retourner en déclarant son type de retour comme `void`

compilation du source

Comment créer l'exécutable ?

- Se doter d'un compilateur C++ : g++, icpp, clang++, icl, ...compatible c++ 2014/2011
- ou bien d'un ide intégré (visual c++, codeblock, etc.)
- Ligne de commande standard :

```
c++ -o bonjour.exe -std=c++14 bonjour.cpp
```

- Remplacer `-std=c++14` par `-std=c++11` pour C++ 2011
- Pour visualiser table des symboles (très difficile sinon sans l'option `-C`) :

```
nm -C bonjour.exe
```

- Pour vérifier si on colle au standard à la compilation : `-pedantic`
- Pour pouvoir déboguer, passer l'option `-g -O0`
- Pour obtenir un code optimisé :
  - Sur g++/clang++ : `-march=native -O3`
  - Sur icc, `-xHost -O3`

Variables entières

Les booléens

Type ne prenant que deux valeurs : `true` ($= 0$) ou `false` ($\neq 0$)

```
// booléens
bool b1, b2, b3;
b1 = true; b2 = false;
b3 = b1 or b2; // b3 = true
b3 = b1 and b2;// b3 = false
b3 = b1 xor b2;// b3 = true ( ou exclusif )
b3 = (2>3); // b3 = false;
b3 = b1 and ((2>3) or (3-3==0));
b3 = not b1; // b3 = false
if (b2) { b3 = b1 or b2; } else { b3 = b1 and b2; }
```

Les entiers

- Beaucoup d'entiers : 8, 16, 32 ou 64 bits, signés ou non signés
- Entiers 8 bits

```
signed char ib = 3;// -128 <= ib <= 127
ib += 128;// ib vaut -125 !
```

```
unsigned char uib = 3; // 0 <= uib <= 255
uib -= 4; // uib vaut 255...
```

Ne jamais utiliser `char` pour entier 8 bits : signé ou non selon les os

Les entiers...

- Entiers 16 bits

```
short si = 68; // -32768 <= si <= 32767
si += 32700; // si vaut -32768
```

```
unsigned short usi = 36; // 0<= usi <= 65535
usi += 65500; //usi vaut 0
```

- Entiers 32 bits

```
int i; // -2^31 <= i <= (2^31)-1
unsigned int ui; // 0 <= i <= (2^32)-1
```

- Entier 32/64 bits (selon os 32 ou 64 bits)

```
long li;
unsigned long uli;
```

- Entier 64 bits

```
long long lli;
unsigned long long ulli;
```

- Opérations usuelles : +, *, / (division entière), - (binaire ou unaire), % (modulo), – (décrémentation), ++(incrémentation)
- Promotion automatique : `i + li // <-- calcul en long`

Réels et complexes

Les réels

- Trois types de réels possibles :
  - Simple précision (32 bits): `float`
  - Double précision (64 bits) : `double`
  - Précision étendue (Au moins 64 bits) : `long double` (exemple : 80 bits si on utilise FPU d'Intel)
- Opérations arithmétiques usuelles : +, -, * , / (division réelle)
- Module `cmath` : fonctions mathématiques `cos`, `sin`, `tan`, `sqrt`, `exp`, `log`, `ln`, ...

```
double x,y; // Réel flottant 64 bits ( double précision )
long double lx; // Réel étendu
x= 3.14; y = 0.5; x = x + y; y += 2 * x * x;
y = std::cos(x); // <--- #include <cmath> en début de fichier
```

Les complexes

- Obligatoire inclure `# include` <complex> en entête de fichier.
- Divers complexes possibles, dépend de ce qu'on lui passe entre <>
- Opérations arithmétiques usuelles, partie réelle/imaginaire : `z.real(); z.imag();`
- Fonctions mathématiques : `std::exp(z), std::cos(z), ...;`

```
std::complex<float> fz; // complexe simple précision
std::complex<double> z; // complexe double précision
std::complex<long double> lz; // complexe précision étendue
std::complex<int> iz;   // complexe d'entiers
```

Chaînes de caractère

Déclarations

- Avec type de base : `const char* str;`
- Avec type protégé (inclure en entête de fichier `string`) : `std::string str;`

Opérations permises

- Concaténation chaîne de caractères : `str3 = str1 + str2;`
- Comparaison, insertion, recherche, etc...
- Convertir chaîne de caractères en entier, réel, etc. : `std::stoi`, `std::stod`, etc...
- Par défaut, codage ISO, mais utf8, utf16 ou utf32 possibles;
- Existe un type brute n'interprétant pas les caractères. Délimités par trois caractères + (et) + les trois caractères ;

```
std::string str1,str2, str3;
str1 = "tin"; str2 = "et"; str3 = "Pilou";
str1 += str1 + " " + str3;
size_t pos_pilou = str1.find(str3); str1[pos_pilou] = 'M';
str1[0] = std::toupper(str1[0]);
str1.insert(pos_pilou, str2+" "); std::cout << str1 << std::endl;
int i; double x;
str2 = "123"; str3 = "3.14";
i = std::stoi(str2); x = std::stod(str3);
std::cout << i << " : " << x << std::endl;
str1 = u8"chaînes avec accents en utf8";
str2 = R"RAW(C'est une chaine
        multiligne qui marche bien)RAW";
str3 = u8R"RAW(Caractères utf8 raws !!!!)RAW";
```

Portée et visibilité des variables

Visibilité des variables

- Règles usuelles : visible dans son bloc et les sous-blocs
- Possibilité déclaration hors bloc : variable globale (à éviter si possible)
- Deux variables ne peuvent porter le même nom dans un bloc
- Mais possible dans un bloc et un sous-bloc et peuvent être de types différents;
- Tant qu'une variable n'est pas déclarée dans un bloc, c'est la variable du bloc supérieur (ou au dessus) qui est visible;
- Une variable est détruite et son espace libéré à la sortie du bloc où elle a été déclarée;

```
int i = 0;

int main()
{
    std::cout << i << std::endl;
    int i = 1;
    std::cout << i << " != " << ::i << std::endl;
    {
        int i = 2;
        std::cout << i << "!=" << ::i << "!=" << std::endl;
        // Par contre, impossible d'atteindre le i du main...
    }
```

Les pointeurs

Types de pointeurs

Pointeur : valeur entière représentant une adresse (virtuelle) de la mémoire du programme. Trois types de pointeurs en C++:

- Le pointeur C (**P**lain **O**ld **D**ata pointer) : entier long représentant une adresse mémoire virtuelle;
- Le pointeur unique : un seul pointeur peut pointer sur une valeur donnée qui est détruite quand plus aucun pointeur ne pointe dessus;
- Le pointeur partagé : plusieurs pointeurs peuvent pointer sur la même donnée qui est détruite lorsque plus aucun pointeur ne pointe dessus.

Utilisation des pointeurs C

- Déclaration :

```
double x = 3.14, y = 1.54, z = 2.28;
int    i = 3;
double array[3] = { 1., 2., 3. };
double *pt_x = &x;
double *pt_y = &y, *pt_z = &z;
double* *pt_pt_x = &pt_x;//Pointeur sur le pointeur de x
double *pt_arr = array; // Pointeur sur le 1er élément de array
```

- Accès à la valeur :

```
*pt_arr = 4; // On affecte la valeur 4 à l'élément pointé par pt_arr
pt_arr[2] = 1;// on affecte 1 à la valeur située 2 éléments plus loin
```

- **Pointeur particulier**, le pointeur nul : `nullptr` de type `nullptr_t`.

Arithmétique des pointeurs C

Incrémentation/décrémentation

Utile seulement pour les tableaux

- Pré incrémentation : Déplace le pointeur sur la valeur suivante et retourne le pointeur modifié; `++pt_arr;`
- Pré décrémentaion : Déplace le pointeur sur la valeur précédente et retourne le pointeur modifié; `--pt_arr;`
- Post incrémentation : Déplace le pointeur sur la valeur suivante et retourne l'ancienne valeur du pointeur; `pt_arr++;`
- Post décrémentation : Déplace le pointeur sur la valeur précédente et retourne l'ancienne valeur du pointeur; `pt_arr--;`
- les pré incrémentation/décrémentation plus efficaces que les post...

Arithmétique de pointeur

- opération addition, soustraction permises :

```
pt_arr += 3;// pt_arr pointe trois valeurs aprés celle pointée
double* pt_arr2 = pt_arr - 2;// pt_arr2 pointe deux valeurs avant pt_arr
*(pt_arr2+1) = 3;// Equiv. à pt_arr2[1]
```

- Uniquement valable pour les pointeurs de type C;

Pointeurs uniques

Déclaration

- Doit inclure `memory` en en-tête de fichier;
- Permet de construire une valeur dynamiquement;
- Un seul pointeur à la fois peut pointer sur cette valeur;
- Si aucun pointeur ne pointe dessus, la valeur est détruite;
- Pas d'arithmétique de pointeur pour ce type de pointeur;
- Même interface que les pointeurs C;
- Possibilité d'accéder au pointeur C correspondant.

```
std::unique_ptr<double> un_pt; // Pointe par défaut sur nullptr
std::unique_ptr<double> un_pt_v = std::make_unique<double>(4.56);
std::unique_ptr<double> un_pt_w = std::move(un_pt_v); // un_pt_w pointe sur 4.56, mais
                                                      // un_pt_v ne pointe plus sur rien.
double a = un_pt_w[0];
std::cout << *un_pt_w; // Même interface que pointeur standard mais pas d'inc/décrémentation
// A la fin du bloc, le dernier pointeur à pointer sur la valeur la détruit en mémoire.
```

Pointeurs partagés

Déclaration

- Doit inclure `memory` en en-tête de fichier;
- Permet de construire une valeur dynamiquement;
- Plusieurs pointeurs peuvent pointer sur cette valeur;
- Si aucun pointeur ne pointe dessus, la valeur est détruite;
- Possibilité de connaître à chaque instant le nombre de pointeurs partageant cette valeur;
- Pas d'arithmétique de pointeur pour ce type de pointeur;
- Même interface que les pointeurs C;
- Possibilité d'accéder au pointeur C correspondant.

```
std::shared_ptr<double> un_pt;// Pointe par défaut sur nullptr
std::shared_ptr<double> un_pt_v = std::make_shared<double>(4.56);
std::shared_ptr<double> un_pt_w = un_pt_v; // un_pt_w pointe sur 4.56
                                           // un_pt_v pointe sur 4.56
int ref_count = un_pt_w.use_count();// Nombre de pointeurs pointant sur 4.56 ( ici 2 )
un_pt_v = std::make_shared<double>(3.14);// un_pt_v pointe sur 3.14
ref_count = un_pt_w.use_count();// Cette fois ci, on retourne 1
un_pt_w = nullptr; // un_pt_w pointe sur nul, la valeur 4.56 est détruite car aucun pointeur
   dessus
// La valeur 3.14 est détruite lorsque un_pt_v est détruit à la fin du bloc ( aucun pointeur
   dessus )
```

Références

Définition d'une référence

- Renommage d'une variable;
- Variable partageant la même valeur qu'une autre variable (même espace mémoire).

Déclaration en C++

- Déclaration d'une référence à l'aide du symbole &;
- Doit être affectée obligatoirement à une autre variable à sa déclaration;
- Ou bien passée comme paramètre d'une fonction (voir plus loin dans le cours).

```
int i = 0;
int& ref_i = i;
int j = i;// j vaut 0
ref_i = 3;// Affecte 3 à la valeur de i et de ref_i
j = 4;// j vaut 4 et i vaut 3
std::cout << "i = " << i << " = " << ref_i << " != " << j << std::endl;
```

Qualifieurs

Constantes

- Permet de définir une valeur non modifiable (exemple : pi);
- Si cette valeur est un scalaire de type entier ou réel, elle n'est pas stockée en mémoire mais remplacée dans le code;
- Seul un entier constant permet de définir un tableau de taille fixe (voir plus loin dans le cours);
- Permet de garantir qu'une valeur référencée ou pointée ne puisse être modifiée intentionnellement;
- L'opérateur `const_cast` permet d'enlever le qualifieur constant si besoin pour une valeur effectivement stockée en mémoire;
- L'opérateur `const_cast` appliquer à une variable définie à l'origine comme const a un comportement indéfini !;
- Cependant son utilisation traduit en général une mauvaison conception de l'interface.

```
const int A[] = { 1, 2, 3, 4 };
const int& i = A[0];
// i = 0 génère une erreur...
// A[0] = -1; génère une erreur
//const_cast<int&>(A[0]) = -1;// Comportement indéfini
const int n = 10;
double arr[n];
const double* pt_arr = arr;
const_cast<double&>(pt_arr[0]) = 3.14;
std::cout << arr[0] << std::endl;
//const_cast<int&>(n) = 15;// Compile mais gros bogue !
```

Volatile

Empêche pour une valeur certaines optimisations (la stocker dans le registre du processeur par exemple) dans le cas où cette variable peut être modifiée par un autre processus; (mot clef `volatile`)

Initialisation des variables

Alias de type

```
using dcomplex = std::complex<double>;
```

déclaration explicite

```
    // Compatible ISO 98
int           i1 = 4, j1 = 2;
double        x1( 0.5 ), y1( 1.3 );
unsigned long u1( 9834541u );
std::size_t   addr1 = 0xFFA2045C;
dcomplex      z1( 0.5, 1.2 );
// Compatible uniquement 2011 ou supérieur :
int           i2{4}, j2{2};
double        x2{3.4}, y2{1.3};
unsigned long u2{9834541u};
std::size_t   addr2{0xFFA2045C};
dcomplex      z2{0.5, 1.2};
// Compatible 2014 ou supérieur :
unsigned long u3 = 9'834'541u;   // Ecriture du nombre avec separateurs
std::size_t   addr3{0xFF'A2'04'5C};  // Idem pour la notation hexadécimale
// Nouvelle écriture binaire en C++ 14 :
std::size_t addr4 = 0b11111111'10100010'00000100'01011110;  // Même adresse que addr3
double ex  = 3'432.4123'6543;
// Indispensable pour utiliser la nouvelle notation pour les complexes
using namespace std::complex_literals;
dcomplex z3 = 0.5 + 1.2i;
```

Déclarations automatiques des variables

déclaration implicite

Déduction statique du type par le compilateur

```
auto i  = 1;          // De la valeur à droite de =, on déduit que i est un int
auto x  = 0.5 * i;    // Idem, ici on déduit que x est un double
auto fx = 0.5f * i;   // Et ici, fx est un float
auto& fy = fx; // fy est une reference sur un float
auto const& fz = fx; // et fz une référence constante
auto const* pt_x = &fx; // pointeur  double constant sur pt_x
// auto z : Interdit car on ne peut pas déduire le type
i = 3.5;  // i prend la valeur 3, car toujours un int !
```

déclaration déductive

Déduit le type d'une variable à partir d'une expression

```
    decltype( 1 + 3.5 )          xx;  // xx est un double car 1+3.5 renvoie un double...
    decltype((i1+x1)) rx = xx; // deduit type double qu'il met en reference
    decltype(x1<0) b = x1<0; // Déduit le type boolean
    decltype( std::norm( z1 ) ) dz;  // dz est double car la fonction std::norm renvoie ici un double
    // decltype permet d'avoir une déduction implicite pour les pointeurs
    using ret_abs_t = decltype(std::abs(z1));
    std::shared_ptr<ret_abs_t> pt_res = std::make_shared<ret_abs_t>(std::abs(z1));
```

TD 1 : prise en main

Problème

Écrire une petite calculatrice permettant d'effectuer des opérations élémentaires.

Aide

Chercher sur `en.cppreference.com` comment utiliser std::stod, std::stol, etc.

Bonus

Généraliser la calculatrice à une calculatrice polonaise inversée

- ```
  try {
      ...
      std::stod(...);
      ...
  } catch(std::invalid_argument) {
      // traitement opérateur
  }
  ```

- Regarder `std::stack<(type élément)>` sur `en.cppreference.com`
  ```

Accès par valeurs, pointeur et références

Accès par valeurs

On copie la valeur à droite du signe =

```
double a = 3; double b = a;
a = 4;
std::cout << "b = " << b << std::endl;// Affiche 3
```

Accès par pointeur

On copie l'adresse de la variable à droite du signe =

```
double a = 3;        double* pt_b = &a;
a = 4;
std::cout << "*pt_b = " << *pt_b << std::endl;// Affiche 4
```

Accès par référence

On définit un alias de la variable à droite du signe =

```
double a = 3;    double& b = a;
a = 4;
std::cout << "b = " << b << std::endl;// Affiche 4
b = 2;
std::cout << "a = " << a << std::endl;// Affiche 2
```

Conversion

Conversion explicite

Conversion sans vérification. La conversion se fait contre "vents et marées".

```
double x = 1.5;
int    i = int(x);// i = 1
const std::string s("Coucou");
const char* cs = s.c_str();
int* pt_i = (int*)&s;// Fonctionne mais...on ne peut rien en faire.
std::cout << *pt_i << std::endl;
pt_i = (int*)cs;
(*pt_i)++;
std::cout << s << std::endl;// Affiche Doudou sur Arm, ? sur intel
```

Conversion statique

Le compilateur vérifie que la conversion soit possible

```
double x = 1.5;
int    i = static_cast<int>(x);// i = 1
const std::string s("Coucou");
const char* cs = s.c_str();
// const int * pt_i = static_cast<const int*>(&s); Erreur car ne sait pas comment convertir
const double A[] = {1.,2.,3.};
// double* pt_x = static_cast<double*>(A); Erreur car conversion de const à non const
const double* pt_x = static_cast<const double*>(A);
```

Structure

Structure

- Syntaxe définition :

```
struct nom_nouveau_type {
   type1 nom1;
   type2 nom2;
   ...
   type_ret fonction1( args ) [const] { ... }
   ... };
```

- Permet la définition de nouveau type contenant plusieurs types déjà définis;
- Accès champs à champs, possibilité de définir tous les champs en un coup;
- On peut aussi définir des fonctions associées aux données contenues dans la structure (on verra plus en détail dans le chapitre sur l'objet).

```
struct employe_onera {
  std::string nom, prenom;
  int id_badge, num_ldap;
};
employe_onera chambier { .nom = "Chambier", .prenom = "Robert", .id_badge=7, .num_ldap=1007 };
std::cout << chambier.nom << std::endl;
employe_onera *pt_e = &chambier; int id = pt_e->id_badge;
```

Exercice

Écrire un programme permettant pour un point donné en 2D de calculer si il appartient ou non à un triangle (utiliser les aires signées).

Union

Union

- Syntaxe :

```
union nom_nouveau_type {
   type1 nom1;
   type2 nom2;
   ... };
```

- Permet de définir un type pouvant contenir exclusivement un des types listés;
- La taille d'une variable de type union est la plus grande des tailles des types donnés dans l'union.

```
union long_int_64 {
    unsigned long val;
    unsigned int  vals[2];
};
long_int_64 i;
i.vals[0] = 10; i.vals[1] = 12;
std::cout << i.val << std::endl:
```

Exercices

- Écrire un programme permettant d'écrire la représentation hexadécimale d'un réel double précision : Regarder documentation de `std::hex` sur internet

Les énumérés

Définition

- Permet une énumération de valeurs; Généralement représentées par un chiffre en C++;
- Énumération fixée à la compilation; Pas possible de rajouter de nouveaux éléments;
- Permet de restreindre à certaines valeurs une catégorie;
- Valeurs d'un énuméré non modifiables;

```
enum Couleur {
    Black = 0,
    Red   = 1,
    Blue  = 2,
    Violet = Red + Blue,
    Green = 4,
    Maroon = Red + Green,
    Yellow = Blue + Green,
    EndCouleur
};

std::array<std::string,EndCouleur> colourName = { "black", "red", "blue", "violet", "green",
                                                  "marron", "yellow" };

int main()
{
    std::cout << "One colour : " << colourName[Yellow] << std::endl;
```

Tableaux statiques

Déclarations et initialisations

bibliothèque : `array` : Défini des tableaux alloués à la compilation

```
# include <array>
    std::array<unsigned,3> grid_indices;
    std::array<double,5> arr{ {1.0035, 1.0,, 0., 0., 0.45} };
    std::array<double,4> arr2 = {1.01,0.0,1.0};
    std::array<int,2> dirs = {1,2,3}; // Erreur !
```

Accesseurs

Permet d'accéder aux données du tableau :

```
    arr.size(); // Nombre d'éléments contenus dans le tableau
    arr.data(); // Renvoie un pointeur sur le premier élément du tableau
    arr.fill(val);// Rempli le tableau avec la valeur val
    arr.swap(arr2);// Permute les valeurs de arr et arr2
```

Comparateurs

Permet de comparer deux tableaux

```
    if ( arr == arr2 ) {
        ...
    }// Marche pour tous les comparateurs ( ==, !=, <, >, <=, >= )
```

Tableaux dynamiques

Dynamique

bibliothèque `vector` : Des tableaux alloués à l'exécution et dont la taille peut être modifiée

```
# include <vector>
    std::vector<double> vecFld;//Tableau vide encore non alloué
    std::vector<int> indices(nijk);// Tableau de taille ni*nj*nk
    std::vector<float> sol(nijk, 0.f);// Tableau taille nijk init. à 0
    std::vector<std::vector<double>> mat;// Tableau de tableau...
    std::vector<double> coef{ { 1., 1.5, 2., 2.5 } };
    std::vector<std::string> token = { "parallel_for", "conv_flux" };
    std::vector<double> varr(arr.data(), arr.data()+3);
```

Accesseurs

```
    sol.size();// Nombre d'elements contenus
    mat.emplace_back({-1.,4.,-1.,0.});// Rajoute un élt en fin de tableau
    sol.push_back(3.5f);// Rajoute un élément en fin de tableau
    sol.pop_back();// Enlève le dernier élt.
    vecFld.reserve(5*nijk);// Alloue 5*nijk élts
    vecFld.data();// Pointeur sur l'adresse du 1er élt.
    sol.resize(nijk/2);//Redimensionne le tableau
    sol.capacity(); // Nombre d'elements reserves
    sol.shrink_to_fit();// Realloue le tableau à la bonne taille
    std::vector<double>(123).swap(sol);// échange 2 tableaux
```

Accès directs aux éléments d'un tableau

Accès direct

- Sans vérification d'indice :

```
// Pour gnu c++, on peut rajouter à la compilation :
// ------------------------------------------------
// -D_GLIBCXX_DEBUG : Pour vérifier les indices
// -D_GLIBCXX_DEBUG_PEDANTIC : Encore + de vérif.
arr[7] = 13;
```

- Avec vérification d'indice (accès plus lent que sans vérification):

```
arr.at(13) = 257;// Génère une erreur de type std::out_of_range
```

- Accès premier élément du tableau

```
arr.front() = 2.;
```

- Accès dernier élément du tableau

```
arr.back() = 2.;
```

Accès séquentiels aux éléments d'un tableau

Accès séquentiel en avant

- Par boucle, en mode C :

```
for (int i = 0; i < arr.size(); ++i ) arr[i] = 0.;
```

- Avec itérateur (mode C++ 98) :

```
for ( auto it = arr.begin(); it != arr.end(); ++it ) *it = 0.;
```

- Par boucle, en mode C++ 11 :

```
for ( double& val : arr ) val = 0.;
```

Accès séquentiel en arrière

- Par boucle, en mode C :

```
for (int i = arr.size()-1; i >= 0; --i ) arr[i] = 0.;
```

- Avec itérateur :

```
for ( auto it = arr.rbegin(); it != arr.rend(); ++it ) *it = 0.;
```

Autres conteneurs

Liste doublement chainée

Bibliothèque : `#include <list>` :

```
std::list<double> lst1;
std::list<int> lst2{ {1,3,5,7,11} };
lst1.emplace_back(3.5);
lst1.emplace_front(3.1);
lst2.push_back(13); lst2.pop_front();
for ( auto it = lst2.begin(); it != lst2.end(); ++it ) *it = -1;
for ( auto& val : lst1 ) val = 3.1415;
```

Ensemble ordonné

Collection de valeurs uniques.Bibliothèque : `#include <set>`. Existe aussi en non ordonné (`unordered_set`)

```
std::set<int> indices{ {0, 3, 10, 13} };
indices.insert(10); // 10 existe déjà, ne l'insère pas.
```

Dictionnaire ordonné

Bibliothèque : `#include <map>`.Existe aussi avec fonction de hashage (`unordered_map`).

```
std::map<std::string,int> id_personnes;
id_personnes["philippe"] = 8905;
id_personnes["Gérard"]   = 9103;
std::map<std::string,int> annee_perso { {"philippe", 1983},
                                        {"gérard"  , 1967} };
```

Les tuples

Les paires

- Permet de définit une paire d'objet de type différents
- Création à l'aide de `std::make_pair`
- Accès au premier et second élément : `p.first` et `p.second`

```
auto p = std::make_pair(1, "Premier");
std::cout << p.first << " et " << p.second << std::endl;
auto p2 = std::make_pair(std::ref(p), "First");
```

Les tuples

- Comme une paire mais avec un nombre quelconque d'objets
- Création à partir de `std::make_tuple`
- On peut récupérer des données d'un tuple à l'aide de `std::get` ou `std::tie`
- Permet de dissocier pour une fonction les paramètres d'entrées (en argument) des paramètres de sortie (en retour avec un tuple si besoin).

```
auto trigo( double x ) { return std::make_tuple(std::cos(x),std::sin(x),std::tan(x)); }
...
double c,s;
std::tie(c,s,std::ignore) = trigo(3.1415);
auto tpl = std::make_tuple("Chat", 3.14, 5);
std::cout << std::get<0>(tpl) << ", " << std::get<1>(tpl) << " et " << std::get<2>(tpl) << std::endl;
```

Manipulation des conteneurs

Générer l'ensemble des nombres impairs

Au moins deux solutions possibles

Statistique d'une chaîne de caractère

- Compter les minuscules, les majuscules, les chiffres, autres
- Afficher en fin de programme les caractères trouvés (en un seul exemplaire chacun)

Hint : regarder doc de `#include <cctype>`

Bonus : Gérer un carnet d'adresse

- fiche personne : nom, prénom, adresse, num. téléphone, num.sécurité sociale.
- Rajouter une personne;
- Rechercher une personne par son nom et prénom
- Afficher toutes les personnes de la base de donnée.

Déclaration des fonctions

Déclaration

- Façon C :

```
double sqr (double x ) {
    return x*x;
}
```

- Façon C++ 11 (notation fonctionnelle):

```
auto sqr (double x ) -> double {
    return x*x;
}
```

- Façon C++ 2014 (notation fonctionnelle simplifiée):

```
auto sqr (double x ) {
    return x*x;
}
```

Modes de passage des arguments

Par valeurs

Copie de l'argument. Valeur de l'argument inmodifiable.

```
void f( std::vector<double> a ) // <-- on recopie dans a
                                //  le vecteur passé en argument
{ ... }
f(arr);
```

Par pointeurs

Passagge explicite de l'adresse de l'argument. Valeur de l'argument modifiable.

```
void f( std::vector<double>* pt_a )
{ ... pt_a->resize(...); ... }
f(&arr);
```

Par référence

Référence sur l'argument. Valeur de l'argument modifiable

```
void f( std::vector<double>& a )
{ ... a.resize(...); ... }
f(arr);
```

Passage par référence

Passage par référence

Utiliser dans la signature d'une fonction pour

- Pouvoir modifier la variable passée en paramêtre;
- Éviter de copier la variable passée en paramêtre.

Inconvénients :

- Impossible de passer directement une valeur non stockée dans une variable;
- Variable passée en paramêtre modifiable pour éviter une copie.

Passage par référence constante

Rajout du mot clef `const` dans la signature

- Éviter une copie sans rendre modifiable la variable passée en paramêtre;
- Permet de passer des valeurs.

Exemples passage par référence

```
using vecteur = std::vector<double>;

double normalize_inplace ( vecteur& u )
{ double nrm = ...; u[0] /= nrm; u[1] /= nrm; u[2] /= nrm; }

void transpose_inplace ( const vecteur& tr, vecteur& u )
{ u[0] += tr[0]; u[1] += tr[1]; u[2] += tr[2]; }

int main ()
{
   vecteur u(3);
   ...
   normalize_inplace ( u );// Normalise u
   transpose_inplace ( vecteur{ {1., 0., -1.} }, u );
   ...
   // Erreur : on ne peut pas passer une valeur
   normalize_inplace ( vecteur{ {1., 1., 1.} } );
}
```

Retour d'une fonction

Retour par valeur

`std::vector<double> f (...)`
Deux modes de retour induits :

- Par copie : si retourne variable non locale ou scalaire. Pour tableau, recopie élément par élément dans nouveau tableau sur tas.
- Par déplacement ; Si retourne variable locale ou si spécifie retour avec instruction `std::move`. Pour un tableau, on crée un nouveau tableau qui va "voler" le pointeur du tableau retourné.

Retour par référence

`std::vector<double>& f (...)`
Retourne un "alias" sur une variable qui doit être

- Un paramètre de la fonction;
- une variable globale.

Ne jamais retourner une variable locale par référence !

Surcharge des fonctions et paramètres par défaut

Surcharge fonctions

Possibilité de redéfinir même fonction avec signatures différentes.

```
int pow_n( int x, int n ) {
  return (n==0 ? 1 : n&1 ? x*pow_n(x*x,(n-1)/2) : pow_n(x*x,n/2)); }
float pow_n( float x, int n ) {
  return (n==0 ? 1 : n&1 ? x*pow_n(x*x,(n-1)/2) : pow_n(x*x,n/2)); }
double pow_n( double x, int n ) {
  return (n==0 ? 1 : n&1 ? x*pow_n(x*x,(n-1)/2) : pow_n(x*x,n/2)); }
int main() { ...
  int    iy = pow_n( 13, 5 );
  double  y = pow_n( 11.5, 7 );
```

Paramètres par défaut

Paramètres optionels. Toujours derniers paramètres. Uniquement définis à la déclaration.

```
double daxpy( int n,const double* x,double* y,int incx=1, int incy=1);
...
double daxpy( int n, const double* x, double* y, int incx, int incy ) {
 double sum = 0.; for (int i = 0; i < n; ++i ) sum += x[incx*i]*y[incy*i];
 return sum; }
int main() { ...
   d  = daxpy( arr.size(),arr.data(),arr2.data() ); // incx=1, incy=1
   d2 = daxpy( arr.size(),arr.data(),arr2.data(),2 ); // incx=2,incy=1
   d3 = daxpy( arr.size(),arr.data(),arr2.data(),2,2 ); // incx=2, incy=2
```

Surcharge des opérateurs

Redéfinition d'un opérateur

- Possibilité de redéfinir des symboles
- Pour opérateurs binaires, premier argument correspond à la valeur à gauche de l'opérateur.

```
std::vector<double> operator +( const std::vector<double>& u,
                                const std::vector<double>& v )
{   assert(u.size() == v.size());
    std::vector<double> w(u.size());
    for ( size_t i = 0; i < u.size(); ++i ) w[i] = u[i]+v[i];
    return w; }
...
auto w = u + v;
```

Opérateur de flux

Pour lire/écrire un nouveau type sur fichier/console/etc.

```
std::ostream& operator << ( std::ostream& out,
                            const std::vector<double>& u ) {
    out << "< "; for (const auto& v : u ) out << v << " "; out << ">";
    return out;
}
std::istream& operator >> ( std::istream& inp, std::vector<double>& u ) {
    ...
    return inp;
}
```

Liste des opérateurs (non exhaustif)

Opérateurs arithmétiques			
+	binaire	`t operator + ( const t&, const t& )`	Addition
−	unaire	`t operator - ( const t& )`	Opposé
−	binaire	`t operator - ( const t&, const t& )`	Soustraction
*	binaire	`t operator * ( const t&, const t& )`	Multiplication
/	binaire	`t operator / ( const t&, const t& )`	Division
%	binaire	`t operator % ( const t&, const t& )`	Modulo
Opérateurs d'affectation et inplace			
=	binaire	`t& operator = ( t&, const t& )`	Copie
+ =	binaire	`t& operator += ( t&, const t& )`	Addition inplace
− =	binaire	`t& operator -= ( t&, const t& )`	Soustraction inplace
* =	binaire	`t& operator *= ( t&, const t& )`	Multiplication inplace
/ =	binaire	`t& operator /= ( t&, const t& )`	Division inplace
% =	binaire	`t& operator %= ( t&, const t& )`	Modulo inplace
Opérateurs de comparaison			
==	binaire	`bool operator ==( const t&, const t& )`	Comparaison égalité
>	binaire	`bool operator >( const t&, const t& )`	Supérieur à
<	binaire	`bool operator <( const t&, const t& )`	Inférieur à
<=	binaire	`bool operator <=( const t&, const t& )`	Inférieur ou égal à
>=	binaire	`bool operator >=( const t&, const t& )`	Supérieur ou égal à
! =	binaire	`bool operator !=( const t&, const t& )`	Différent de
Opérateurs d'accés			
[]	binaire	`(const) t& operator [](const) t&, const Ind& )`	Accesseur mono indice
*	unaire	`(const) t& operator * ( (const) pt_t& )`	Opérateur de dérérencement
->	unaire	`(const) t& operator ->( (const) pt_t& )`	Opérateur d'accès pointeur
Pré/Post incrément			
++	unaire	`t operator ++ ( t& )`	Pré incrémentation
++	unaire	`t operator ++ ( const t&, int )`	Post incrémentation
−	unaire	`t operator -- ( t& )`	Pré décrémentation
−	unaire	`t operator -- ( const t&, int )`	Post décrémentation
Autres			
()	n-aire	`Out operator () ( arg1, arg2, ..., argn )`	Évaluateur/Accesseur

Les exceptions

Utilité

- Erreurs
- Traitement d'un cas rare où exceptionnel;

Les exceptions font partie de la conception de l'interface

Propriétés

- Extensible
- Saut automatique de contexte
- Délègue le traitement de l'erreur à l'appelant

Principe

- `throw` : lancer un signal d'erreur (entier, string, autre)
- `try {... code protégé ...} catch(type1& e1) ... traitement erreur 1 ... catch(type2& e2) ... traitement erreur 2 ...`: Mise en bloc de la zone à protéger. les erreurs non rattrapées sont renvoyer plus haut dans la pile d'appel

Les exceptions - 2

La levée de l'exception

```
std::pair<double,double> find_root( double b, double c ) {
    double delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0) throw std::string("Negative discriminant");
    return {0.5*(-b + std::sqrt(delta)),0.5*(-b - std::sqrt(delta))};
}
```

Protection d'une zone de code

```
try {
  auto sols = find_root( 3, -1. );
} catch(std::string& msg)
{
  std::cerr << "Erreur en cherchant les racines : " << msg
            << std::endl;
}
```

Les exceptions - 3

Exceptions prédéfinies

dans `stdexcept`

- Logic errors
  - `logic_error` : Logic error exception
  - `domain_error` : Domain error exception
  - `invalid_argument` : Invalid argument exception
  - `length_error` : Length error exception
  - `out_of_range` : Out-of-range exception
- Runtime errors
  - `runtime_error` : Runtime error exception
  - `range_error` : Range error exception
  - `overflow_error` : Overflow error exception
  - `underflow_error` : Underflow error exception

Les exceptions - 4

Gestion EAFP

Easier to Ask for Forgiveness than Permission

```
if (determinant(A) != 0) {
     inverse_system(A,b,x);
} else {
     project_solution(A,b,x);
}
```

```
try {
    inverse_system(A,b,x);
} catch(std::underflow_error&) {
    project_solution(A,b,x);
}
```

Big brother

Bigger protected block, better performance

```
for ( int i = 0; i < nijk; ++i ){
 try {
   comp_speed(rho[i],rho_u[i],u[i]);
 } catch(std::underflow_error&){ ... }
}
```

```
try {
  for ( int i = 0; i < nijk; ++i ){
    comp_speed(rho[i],rho_u[i],u[i]);
  }
```

Les entrées/sorties (fstream)

Ouverture/création fichiers

- Création d'un flux en lecture/écriture :
  - `std::ifstream fich(nom_fich)` : Ouverture en lecture d'un fichier;
  - `std::ofstream fich(nom_fich)` : Ouverture en écriture d'un fichier (écrase l'ancien);
  - `std::ofstream fich(nom_fich,mode)` : Ouverture en écriture d'un fichier selon un ou plusieurs modes définis (exemple : `ios::out|ios::app`) :
    - `ios::out` : Ouverture en mode écriture (défaut)
    - `ios::trunc` : Tronque (efface) l'ancien fichier si il existait déjà et remplace par un nouveau;
    - `ios::app` : Rajoute à la suite du fichier si il existait déjà. Impossible d'écraser ce qui existait déjà même en se déplaçant en "début" de fichier;
    - `ios::ate` : Rajoute à la suite du fichier si il existait déjà. On peut écraser les données précédentes en se déplaçant en début de fichier par exemple.
- On peut tester si l'ouverture s'est correctement déroulé : `if (fich) ...`

Écrire/Lire dans un fichier formaté

- Écrire

```
int i = 5; double x = 3.14; std::string chaine("strange data...");
fich << i << x << chaine;
```

- Lire

```
int i; double x; std::string chaine;
fich >> i >> x >> chaine;
```

Les entrées/Sorties (suite)

Changer le format des nombres sauvegardés (`iomanip`)

- `std::setprecision(n)` : Écrit *n* chiffres après la virgule;
- `std::fixed`,`std::scientific`,`std::hexfloat`,`std::defaultfloat` : divers formats...
- `std::setw(n)` : Affiche le prochain "objet" sur *n* caractères.
- `std::setfill(c)` : Remplit les "trous" avec le caractère *c*

Autre utilitaire de lecture formatée

- `fich.getline(buffer,n[,delim])` : Lit ligne entière (*n* caractères max). Fin ligne définie par o.s, sauf si `delim` précisé.
- `fich.get(c)` : Lit le caractère *c* dans le fichier
- `fich.ignore(n)`: Lit sans stocker *n* caractères du fichier;
- `fich.peek()` : Lit le caractère courant sans avancer dans le fichier;
- `fich.seekg(offset,pos)`/`fich.tellg()` : Met/Donne la position dans le fichier

Écrire/lire dans un fichier binaire

- Écrire : `fich.write(buffer, size);` où `char* buffer;`;
- Lire : `fich.read(buffer,size);` où `char* buffer;`.

Fermer un fichier

- `fich.close()`

Autres entrées/sorties

Lecture/Écriture dans une chaîne de caractères (sstream)

- Permet de former dynamiquement des chaînes de caractères; Même interface que pour un fichier + quelques autres opérations

```
# include <sstream> ...
int main() {
  int n = 3, double x = 5, y;
  std::ostringstream foo; foo << "Facile d'écrire " << n << " " << x << std::endl;
  std::string s = foo.str(); std::string vals("3.14 334 4.14");
  std::istringstream fii(vals);
  fii >> x >> n >> y;
  return 0; }
```

Exercice (difficile): Gestion d'une bibliographie

- Écrire une structure pouvant contenir une bibliographie primaire (Titre, auteur, année, éditeur, type);

```
Bibliography bib;
Bibliography::item book1{title="Vie des douzes césars", author="Sueton",
                         year=121, editor="?", type="Biography"};
add(bib, book1);
```

- Un opérateur permettant d'afficher/écrire un livre sur console/fichier;
- Écrire une fonction qui sauvegarde la bibliographie, une fonction qui la lit;
- Une fonction cherchant l'ouvrage le plus récent/Ancien de la bibliographie.

```
auto& old_book = bib_oldest(bib); auto& new_book = bib_newest(bib);
```

Les espaces de nommage

Conflits de noms

- Deux entités portant le même nom. Exemple : `Vecteur` pour un vecteur soit géométrique soit algébrique;
- Ou deux fonctions portant le même nom et la même signature.
- En C++, on peut résoudre cela en utilisant des espaces de nommage :
  - Soit en utilisant l'espace de nommage dans nos propres headers :

```
namespace Geometry {
    struct Vecteur { std::array<double,3> coefs; };
}
namespace Algebra {
    struct Vecteur { std::vector<double> coefs; };
}
```

  - Soit en encapsulant l'inclusion dans l'espace de nommage pour des headers externes :

```
namespace Geometry {
# include <geometry/vecteur.hpp>
}
namespace Algebra {
# include <algebra/vecteur.hpp>
}
```

```
Geometry::Vecteur x;
Algebra::Vecteur  u;
```

Utilisation des espaces de nommage

Possibilité

- Ne pas préciser l'espace de nommage;

```
namespace Algebra {
   struct Vecteur...
}
{
  Algebra::Vecteur u;
}
{ // Tout ce qui est dans Algebra sera visible dans l'espace global
  using namespace Algebra;
  Vecteur u;
}
{ // Seul Algebra::Vecteur est visible dans l'espace de nommage global.
  using Algebra::Vecteur;
  Vecteur u;
}
```

- Renommer un espage de nommage

```
namespace Numeric {
    namespace Integration {
       double quadrature( double x0, double x1, double(*f)(double x));
    }
{
   using NumInteg = Numeric::Integration;
   ...
   x = NumInteg::quadrature(0, 2, std::sqrt);
   ...
}
```

Espaces de nommage anonymes

Espace de nommage anonyme

Espace de nommage non nommé (!) permettant d'avoir qu'une visibilité locale des entités définies à l'intérieur.

Exemple d'utilisation

```
namespace { // <--- Espace de nommage anonyme
    // L'unique contexte graphique est caché des fichiers externes
    std::shared_ptr<Graphic::Context> pt_context;
};

std::shared_ptr<Graphic::Context> get_graphic_context(...) {
    if (pt_context == nullptr) {
        pt_context = std::make_shared<Graphic::Context>(...);
    }
    return pt_context;
}
```

Les expressions constantes

Définition

- Valeurs évaluées au moment de la compilation;
- Peuvent être des valeurs de types définis par l'utilisateur;
- On peut utiliser des expressions relativement complexes.

```
const int constexpr N = 100;
const int constexpr M = N + 21;
const int constexpr O = ( M%2 == 0 ? M/2 : 3*N+1);
```

Fonctions en expressions constantes

- Des fonctions peuvent être définies comme expressions constantes pour évaluées ces valeurs;
- Elles peuvent être utilisées comme fonction normale ou pour évaluer une expression constante;
- Si uniquement pour évaluer une expression constante, pas compilée et n'existera pas dans l'application finale;
- Des structures/classes peuvent être évaluées en expressions constantes ainsi que leurs méthodes.

```
// On utilise la méthode de Newton pour trouver la racine carrée de x:
// x_n+1 = x_n - f(x_n)/f'(x_n) = x_n - (x_n²-x)/(2.x_n)
double constexpr sqrt_NewtonRaphson( double x, double curr, double prev )
{ return curr == prev ? curr : sqrt_NewtonRaphson(x, 0.5*(curr +  x/curr), curr ); }
// On gère quand même les cas où la racine n'existe pas !
double constexpr cst_sqrt(double x)
{ return x >= 0 && x < std::numeric_limits<double>::infinity() ?
                  sqrt_NewtonRaphson(x,x,0) : std::numeric_limits<double>::quiet_NaN(); }
```

```
const double constexpr sqrt2 = cst_sqrt(2);
```

Les expressions constantes...

Règles à suivre pour les fonctions expressions constantes

- Ne pas utiliser des fonctions de la librairie standard (sauf extension comme dans gnu);
- Ne pas être virtuelles (voir le chapitre sur l'objet pour les fonctions virtuelles);
- Doit retourner un type littérale : type scalaire, tableau de type littéraux, constructeur constexpr et destructeur trivial (voir chapitre sur l'objet), void, aggrégat, union, ne pas être volatile;
- Pas de boucles en C++11 (mais possible en C++14);
- Pas de goto, d'assembleur, de définitions de variables non littérales, de variables statiques, de blocs `try...catch...`, de variables statiques.

```
// Calcul de la racine d'un vecteur 3D en expression constante
double constexpr normL2( double x, double y, double z ) { return cst_sqrt(x*x+y*y+z*z); }
/* Le calcul de pi peut se faire à l'aide d'une triple suite. Cette formule double
   en décimal le nombre de chiffre exact après la virgule à chaque itération.
   Cette formule est inspirée de celle de brent - salamin ( 1976 ) :
   A_0 = 1;          A_n+1   = (A_n + B_n)/2.
   B_0 = sqrt(1/2);  B_{n+1} = sqrt(A_n * B_n)
   C_0 = 1/4;        C_{n+1} = C_{n} - 2^{n}*((A_n-B-n)/2)²
   et on calcul pi_n comme pi_n = (A_n+B_n)²/(4*C_n)
*/

double constexpr brent_salamin( int n, double an, double bn, double cn,
                                double cur, double prev ) {
  return cur == prev ? cur : brent_salamin(n+1, 0.5*(an+bn), cst_sqrt(an*bn),
                         cn - (1<<n)*0.25*(an-bn)*(an-bn), 0.25*(an+bn)*(an+bn)/cn, cur);
}
```

```
    const double constexpr sqr3 = normL2(1.,1.,1.);
    const double constexpr pi = brent_salamin(0,1.,cst_sqrt(0.5),0.25,3.,0.);
    double x = 3, y = 5, z = 8;
    double nrmp = normL2(x,y,z);
```

A vous de jouer !

Gestion de matériaux

- Matériaux identifiés par leurs cœfficient de Young ν, température de fusion T et leur résistance électrique R;
- Sauver/Lire des matériaux dans une base de donnée qu'on pourra charger entièrement en mémoire;
- Interroger la base pour connaître les caractéristiques d'un matériau.

Exemple de test

```
MDB_Materiaux db;
ifstream ifich("materiaux.db");
ifich >> db;
ifich.close();
std::cout << db["acier"].young << std::endl;
std::cout << db["chene"] << std::endl;
Materiau coton{ .young = 0.1, .T = 100, .R = 50 };
db["coton"] = coton;
ofstream ofich("materiaux.db","w");
ofich << db;
ofich.close();
```