Formation C++

Aimery Tauveron--Jalenques

Septembre 2018

ViaRézo

Introduction

Introduction

C++ est un langage de programmation compilé permettant la programmation sous de multiples paradigmes (comme la programmation procédurale, orientée objet ou générique). [...]

Créé initialement par Bjarne Stroustrup dans les années 1980, le langage C++ est aujourd'hui normalisé par l'ISO. Sa première normalisation date de 1998, ensuite amendée par l'erratum technique de 2003. Une importante mise à jour a été ratifiée et publiée par l'ISO en septembre 2011 sous le nom de C++11. Depuis, des mises à jour sont publiées régulièrement : en 2014 puis en 2017.

Extrait adapté de Wikipédia

Introduction

Ce n'est pas :

- une formation C (pas de `(int*)malloc(...)`),
- une formation compilation,
- une formation POO,
- un tutoriel.

C++ 101

Programmation orientée objet en C++

Le C++ moderne

Introduction à la librairie standard

C++ 101

Hello world !

```cpp
#include <iostream>

int main () {
  std::cout << "Hello world!\n";
  return 0;
}
```

Compilation

Il faut compiler !

- GCC, Clang, Microsoft Visual C++

```
g++ hello.cpp
```

On peut exécuter :

```
./a.out
Hello world!
```

Compilation

```
g++ -O3 -Wall hello.cpp -o hello
```

C'est mieux !

```
./hello
Hello world!
```

Définition de variables

```cpp
#include <iostream>

int main () {
  int a;
  int b (0);
  int c = 0;
  std::cout << "a is: ";
  std::cin >> a;
  b = 2*a;
  std::cout << "a is: " << a << "\n";
  std::cout << "b is: " << b << "\n";
  std::cout << "2*a is: " << 2*a << "\n";
  return 0;
}
```

Les variables

Des types :

- numériques : `int` (`unsigned`, `long`, `short`), `float`, `double`
- non-numériques : `char`, `bool`
- `void`
- autres (objets...)

Trois catégories de variables :

- variables : *type var*
- références : *type &var*
- pointeurs : *type *var*

Un qualificateur : `const`

Les variables statiques

```
int main () {
  int a (2);
  int b (a);
  int &c (a);
  int *d = a;
  std::cout << "a is: " << a << "\n";
  std::cout << "b is: " << b << "\n";
  std::cout << "c is: " << c << "\n";
  std::cout << "d is: " << d << "\n";
  return 0;
}
```

Les variables statiques

```
int main () {
  int a (2);
  int b (a);
  int &c (a);
  int *d = &a; // address of a
  std::cout << "a is: " << a << "\n";
  std::cout << "b is: " << b << "\n";
  std::cout << "c is: " << c << "\n";
  std::cout << "d is: " << d << "\n";
  return 0;
}
```

Les variables statiques

```
int main () {
  int a (2);
  int b (a);
  int &c (a);
  int *d = &a; // address of a
  std::cout << "a is: " << a << "\n";
  std::cout << "b is: " << b << "\n";
  std::cout << "c is: " << c << "\n";
  std::cout << "d is: " << *d << "\n"; /* the
      value pointed to by d */
  return 0;
}
```

Les tableaux

```
int a[8];
char w[256];
a[0] = 0;
a[1] = 4;
std::cout << a[0];
```

- Hérités de C
- Indexés de 0 à $n-1$
- Des pointeurs $\Longrightarrow$ pas de vérification des indices

```
int *b = a; // Correct
a[11] = 32; // Undefined behaviour
```

Cycle de vie des variables statiques

- Création à la déclaration
- Destruction à la fin du bloc `{...}`

```
int main () {
  // maybe some code
  int a (0);
  unsigned int b;
  {
    double c (.5);
  }
  // c doesn't exist here
  return 0;
}
```

Les variables dynamiques

Deux couples d'opérateurs : `new` et `delete`, `malloc` et `free`

```
int *a = new int(2);
delete a;
a = nullptr;
```

Pour les tableaux : `new[]` et `delete[]`

```
int *a = new int[4];
delete[] a;
a = nullptr;
```

Les variables dynamiques

```
int main () {
  int *a;
  {
    int *b = new int(4);
    a = b;
  }
  // b doesn't exist here
  // but a does
  std::cout << "a is: " << *a << "\n";
  delete a;
  a = nullptr;
  return 0;
}
```

Les structures de contrôle

```
if ( condition ) {
  // code
} else if ( condition ) {
  // code
} else {
  // code
}
```

```
if ( condition )
// single line of code
else
// single line of code
```

Les structures de contrôle

```
while ( condition ) {
  // code
}
```

Les structures de contrôle

```
for ( initialisation ; condition ; increase ) {
  // code
}
```

```
for ( int i=0 ; i<10 ; ++i ) {
  // code
}
```

```
for ( n=0, i=100 ; n!=i ; ++n, --i ) {
  // code
}
```

Les structures de contrôle

```
switch ( expression ) {
   case constant :
   // code
   break ;
   case constant :
   // code
   break ;
   default :
   //code
}
```

Les fonctions

Définition :

```
return_type function_name (arguments) {
    // code
    return return_value;
}
```

Appel :

```
variable = function_name (arguments);
```

Surcharge de fonctions possible

Les fonctions

Trois manières de passer un argument :

- par valeur

```
int f (int a) {...}
```

- par référence

```
int f (int &a) {...}
```

- par pointeur

```
int f (int *a) {...}
```

La fonction `main`

```c
int main (int argc, char **argv) {
  // code
  return 0;
}
```

ou bien

```c
int main (int argc, char *argv[]) {
  // code
  return 0;
}
```

Des opérateurs

Dans le désordre :

- arithmétiques : +, -, *, /, %
- de comparaison : ==, !=, <, >, <=, >=
- logiques : &&, ||, !
- binaires : &, |, ^, ~
- mémoire : &, *

En C++, le contexte est important !

Les namespaces

Pourquoi `std::cout` et non `cout` ? `int` et non `std::int` ?

int est dans le `namespace` global, `cout` dans le `namespace std`.

`std` contient la bibliothèque standard.

On peut utiliser :

```
using namespace std;

int main () {
  cout << "Hello world!\n";
  return 0;
}
```

Les namespaces

```
namespace foo {
  bool var (true);
}
namespace bar {
  double var (1.0);
}
int main () {
  std::cout << "foo::var is:" << foo::var << "\
    n";
  std::cout << "bar::var is:" << bar::var << "\
    n";
  return 0;
}
```

Programmation orientée objet en C++

Les strings

`string` : chaîne de caractères améliorée

```
#include <string>

int main () {
  std::string str ("some");
  std::string str2 ("text");
  str.append(str2); // str = str + str2;
  const char *cstr (str.c_str());
  return 0;
}
```

Structures et objets

```
struct atom {
  int atomic; // Atomic number
  int mass; // Mass number
};
```

Membres d'une structure :

- variables (attributs),
- fonctions (méthodes)

Structures et objets

```
atom carbon12;
carbon12.atomic = 6;
carbon12.mass = 12;

atom *oxygen16 = new atom;
oxygen16->atomic = 8;
oxygen16->mass = 16;
```

Structures et objets

```
class Atom {
private:
  int m_atomic;
  int m_mass;
public:
  Atom(int a, int m) {
    m_atomic = a; m_mass = m;
  }
};

Atom carbon12 (6,12);
carbon12.m_mass = 13; // Forbidden!
```

Les attributs d'une classe sont toujours **privés**.

Un objet minimaliste

```
class A {
private:
  // attributes
  // private methods
public:
  ~A (...) {...} // destructor
  A (const A &a) {...} // copy constructor
  A& operator= (const A &a) {...} // copy
      assignment operator
  // public methods
};
```

Un exemple

```
class GaussInt {
private:
  int m_real;
  int m_imag;
public:
  GaussInt (int a=0, int b=0): m_real(a),
     m_imag(b) {}
  ~GaussInt () {}
  GaussInt (GaussInt &a): m_real(a.m_real),
     m_imag(a.m_imag) {}
  double norm () { return std::sqrt(m_real*
     m_real + m_imag*m_imag); }
};
```

Un exemple

```
int main () {
  GaussInt a;
  GaussInt b (4,3);
  GaussInt c (b);
  GaussInt d = a;
  std::cout << "Norm of c: " << c.norm() << std
      ::endl;
  std::cout << "Norm of d: " << d.norm() << std
      ::endl;
  return 0;
}
```

Méthodes par défaut

- Définition implicite du constructeur de copie, de l'opérateur d'affectation et du destructeur
- Copie membre à membre

```
class GaussInt {
  // ...
public:
  GaussInt (int a=0, int b=0): m_real(a),
      m_imag(b) {}
  double norm () { return std::sqrt(m_real*
      m_real + m_imag*m_imag); }
};
```

Implémentation seulement si nécessaire !

Les possibilités

- Surcharger les opérateurs
- Accès aux membres : `private`, `protected` et `public`
- Héritage (multiple)
- Méthodes `const`, attributs `static` et `mutable`
- Fonctions et classes amies (`friend`)

Séparation en fichiers

- Fichiers *header* (extension `h` ou `hpp`) : déclarations
- Fichiers source (extension `cpp`) : définitions

On inclut des fichiers *header* dans les fichiers source ou dans d'autres fichiers *header*.

Séparation en fichiers : GaussInt.h

```
#ifndef GaussInt_included
#define GaussInt_included
class GaussInt {
private:
  int m_real;
  int m_imag;
public:
  GaussInt (int a=0, int b=0);
  ~GaussInt ();
  GaussInt (const GaussInt &);
  GaussInt& operator= (const GaussInt &);
  double norm ();
};
#endif
```

Séparation en fichiers : GaussInt.cpp

```cpp
#include "GaussInt.h"
#include <cmath>
GaussInt::GaussInt (int a=0, int b=0): m_real(a
    ), m_imag(b) {}
GaussInt::~GaussInt () {}
GaussInt::GaussInt (const GaussInt &a): m_real(
    a.m_real), m_imag(a.m_imag) {}
```

Séparation en fichiers : GaussInt.cpp

```
GaussInt& GaussInt::operator= (const GaussInt &
    a) {
  m_real = a.m_real; m_imag = a.m_imag;
  return *this;
}
double GaussInt::norm () {
  return std::sqrt(m_real*m_real + m_imag*
      m_imag);
}
```

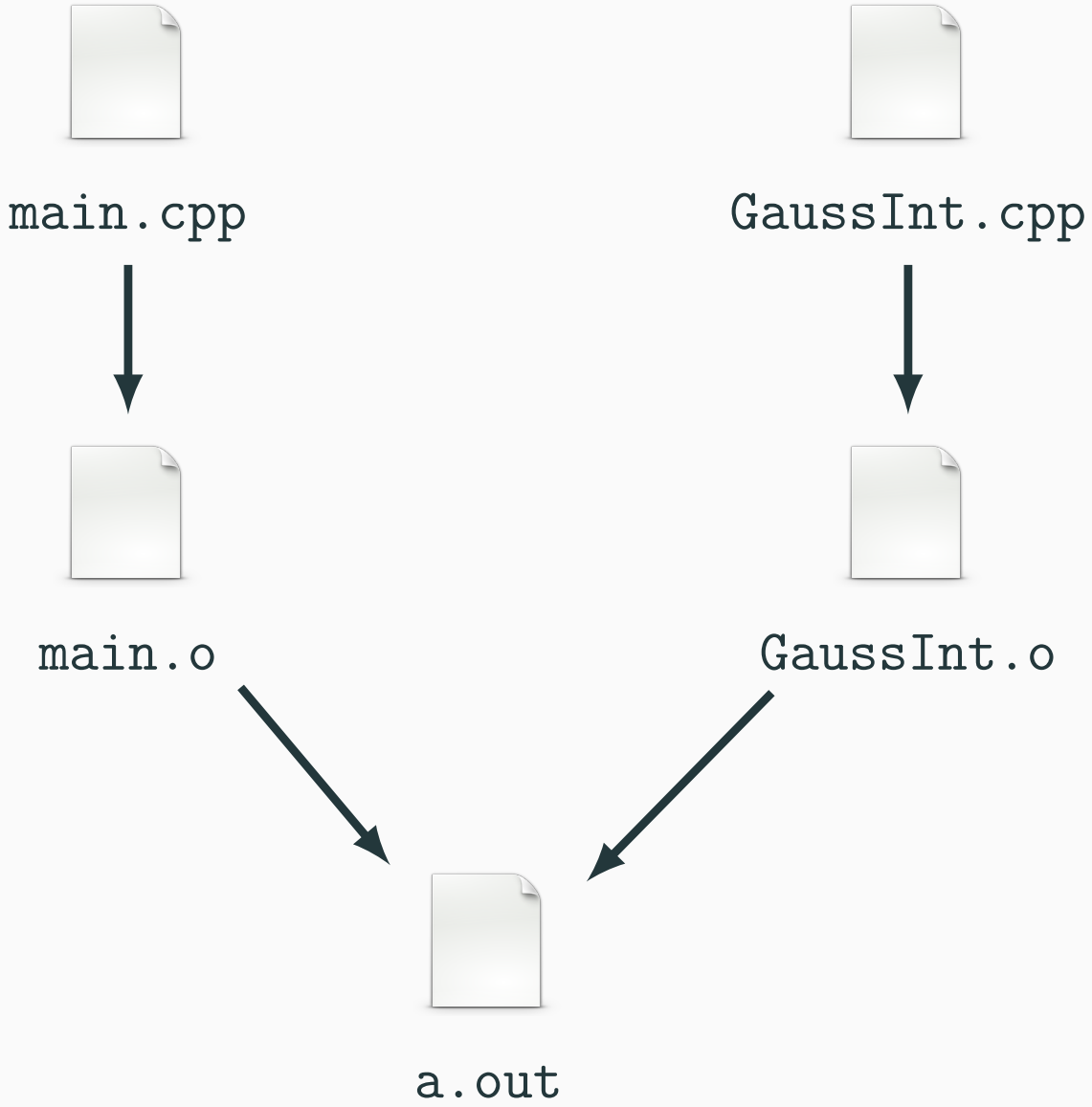
Séparation en fichiers

```
#include <iostream>
#include "GaussInt.h"
int main () {
  GaussInt a;
  GaussInt b (4,3); GaussInt c (b);
  GaussInt d; d = c;
  std::cout << "Norm of a: " << a.norm() << std
      ::endl;
  std::cout << "Norm of c: " << c.norm() << std
      ::endl;
  std::cout << "Norm of d: " << d.norm() << std
      ::endl;
  return 0;
}
```

Compilation

```
g++ -Wall -c GaussInt.cpp -o GaussInt.o
g++ -Wall -c main.cpp -o main.o
g++ -Wall main.o GaussInt.o -o gauss.out
```

Compilation



Compilation

On peut exécuter :

```
./gauss.out
Norm of a: 0
Norm of c: 5
Norm of d: 5
```

```
template <typename T> bool isPositive (T a) {
  if (a>=0) {
    return true;
  } else {
    return false;
  }
}
```

Mot-clé : `typename` ou `class`

Les *templates*

```
int n = 4;
double x = 2.5;
isPositive(n);
isPositive(x);
isPositive<double>(3.0);
```

Les *templates*

```
template <typename T> class complex {
private:
  T m_real;
  T m_imag;
public:
  complex (const T &a = T(), const T &b = T());
  ~complex();
  complex (const complex<T> &);
  complex& operator= (const complex<T> &);
  double norm ();
};
```

Les *templates*

```
complex<double> z (3, 5.5);
complex<int> a;
complex<int> b (0, 4);
```

Les *templates*

- Des patrons de classe ou de fonction pour générer automatiquement du code
- Plusieurs paramètres, avec des valeurs par défaut
- Spécialisation de *templates*

Déclaration et définition **dans le même fichier** $\Longrightarrow$ dans un *header*

Une application de la POO : RAII

VIAREZO

- Fuites : mémoire, fichiers, connections...
- `gdb`, `valgrind`...
- En cas d'interruption du programme (par exemple `exception`) ?

Une application de la POO : RAII

- RAII : Ressource Acquisition Is Initialisation
- Encapsulation des ressources dans des objets

→ Initialisation dans le constructeur, nettoyage dans le destructeur

→ Appel du destructeur garantit par le langage

→ Exception renvoyée par un destructeur : *undefined behaviour*

Le C++ moderne

Un peu d'histoire

1972 : première version de `C`

1983 : première version de `C++` (alors `C with classes`)

1989 : premier standard pour `C` (`ANSI C`)

1998 : premier standard pour `C++`

2003 : norme `C++03`

2011 : norme `C++11` $\leftarrow$ début du `C++` moderne

2014 : norme `C++14`

2017 : norme `C++17`

```
--std=c++11
```

De nouveaux tableaux

```cpp
std::array<int,5> a;
a[1] = 2;
size_t a_size = a.size();

a[6] = 4; // runtime error
```

De nouveaux tableaux

```
std::vector<int> a;
a.push_back(10);
a[0];

std::vector<int> b (5);
b.pop_back();
size_t b_size = b.size(); // now 4
```

Une nouvelle boucle `for`

```
std::array<int,5> a;
// code
for (int &it : a) {
  // code
}
```

`range for` pour tous les itérables

- `begin` et `end` sur l'objet
- `operator!=`, `operator++` et `operator*` sur l'itérateur

Le type `auto`

`auto` : inférence de type

```
for (auto &iterator : iterable) {
  // code
}
```

Parlons performance

Que se passe-t-il si j'exécute le code ci-dessous ?

```
std::string f () {
  // code
}

int main () {
  std::string x, y;
  // put some text in x and y
  std::string a(x);
  std::string b (x+y);
  std::string c (f());
  return 0;
}
```

Parlons performance

Que se passe-t-il si j'exécute le code ci-dessous ?

```
std::vector<std::string> f () {
  // return a large vector of long strings
}

int main () {
  std::vector<std::string> a (f());
  return 0;
}
```

Parlons performance

Pourquoi faire une copie ?

$\Longrightarrow$ Indiquer au compilateur que l'objet affecté est détruit immédiatement après !

Move semantics

- Possible depuis `C++11`
- Utilisation automatique
- Utilisation manuelle avec `std::move`

```
new_var = std::move(old_var)
```

Move semantics

```
class A {
  // stuff
public:
  ~A ();
  A (const A &);
  A (A &&); // move constructor
  A& operator= (const A &);
  A& operator= (A &&); // move assignment
      operator
  // more stuff
};
```

Autant que possible, utiliser les méthodes par défaut !

Move semantics en pratique

```
class blob {
private:
  size_t m_size;
  char *m_data;
public:
  blob (): m_size(0), m_data(nullptr) {}
  ~blob () { delete[] m_data; }
};
```

Move semantics en pratique

```
blob (const blob& other): m_size(other.m_size)
    {
   // copy constructor
   if (m_size) {
      m_data = new char[m_size];
      memcpy(m_data, other.m_data, m_size);
   } else {
      m_data = nullptr;
   }
}
```

Move semantics en pratique

Avec *copy-and-swap* :

```
friend void swap (blob& first, blob& second) {
  using std::swap;
  //
  swap(first.m_size, second.m_size);
  swap(first.m_data, second.m_data);
}

blob (blob&& other): blob() {
  // move constructor
  swap(*this, other);
}
```

Move semantics en pratique

```
blob& operator= (blob other) {
  swap(*this, other);
  return *this;
}
```

Retour vers les ressources

- Ressource (encapsulée dans un objet) « unique »
- Interdire la copie ?

```
class A {
  // stuff
public:
  ~A ();
  A (const A &) = delete;
  A (A &&) = delete;
  A& operator= (const A) = delete;
};
```

delete utilisable aussi avec l'héritage

Retour vers les ressources

Impossible d'utiliser une *factory* ?

```
class A {
  // stuff
public:
  ~A ();
  A (const A &) = delete;
  A (A &&);
  A& operator= (const A);
};
```

Retour vers les ressources

```
int main () {
  A a = factory_for_A();
  A b, c;
  b = a; // Forbidden
  c = std::move(a); // a may end up unusable
  return 0;
}
```

Les *lambdas*

```
void f (int i) {
  std::cout << i << ' ';
}

int main () {
  std::vector<int> vec;
  vec.push_back(10);
  // ...
  for_each(vec.begin(), vec.end(), f);
  std::cout << '\n';
  return 0;
}
```

Un exemple de *lambda*

```
int main () {
  std::vector<int> vec;
  vec.push_back(10);
  // ...
  for_each(vec.begin(), vec.end(), [](int i) {
      std::cout << i << ' ';
    } );
  std::cout << '\n';
  return 0;
}
```

Les *lambdas*

```
[](double x) -> double {
  if (x>0) {
    return 0.1*x;
  } else {
    return 0;
  }
}
```

Les *lambdas*

Capture de variables :

- `[`*var*`]` pour capturer par valeur
- `[&`*var*`]` pour capturer par référence
- `[=]` pour capturer toutes les variables par valeur
- `[&]` pour capturer toutes les variables par référence
- `[=, &`*var*`]`
- `[&,` *var*`]`

Des pointeurs intelligents

- shared_ptr
- unique_ptr

```cpp
#include <iostream>
#include <memory>

int main () {
  std::shared_ptr<int> foo (new int(5));
  std::unique_ptr<int> bar (new int(3));
  std::cout << *foo << ' ' << *bar << '\n';
  return 0;
}
```

Des pointeurs intelligents

Que se passe-t-il si j'exécute le code suivant ?

```
int main () {
  int *ptr = new int(5);
  std::shared_ptr<int> foo (ptr);
  std::cout << *foo << '\n';
  {
    std::shared_ptr<int> bar (ptr)
  }
  std::cout << *foo << '\n';
  return 0;
}
```

Des pointeurs intelligents

Ne pas initialiser de pointeur intelligent à partir d'un pointeur classique !

Ou mieux, utiliser :

- `shared_ptr` avec `make_shared`
- `unique_ptr` avec `make_unique` (C++14)

Des pointeurs intelligents

```
int main () {
  std::shared_ptr<int> foo = make_shared<int
      >(5);
  {
    std::shared_ptr<int> bar (foo);
  }
  std::unique_ptr<int> foobar = make_unique<
      double>(3.14);
  std::cout << *foo << ' ' << *foobar << '\n';
  return 0;
}
```

Introduction à la librairie standard

Hello standard library !

Vous rappelez-vous du *namespace* `std` ?

Des directives `#include <...>` ?

Quelques *header*s courants

- `string` pour gérer les chaînes de caractères
- `iostream` pour les flux standards d'entrée et de sortie
- `fstream` pour les opérations d'entrée et de sortie sur des fichiers
- `cmath` pour les mathématiques
- `memory` pour les pointeurs intelligents

Des conteneurs

- `array`, `vector`
- `queue`, `dequeue`
- `list`, `forward_list`
- `map`, `unordered_map`
- `set`, `unordered_set`
- `stack`

Du parallélisme avec C++11

VIAREZO

- `thread`
- `atomic`
- `mutex`, `condition_variable`
- `future` pour l'asynchronisme

Les exceptions

```
#include <iostream>
#include <exception>

void f () { throw std::runtime_error("an error
    occured in function f"); }
int main () {
  try {
    f(); std::cout << "No error\n";
  } catch (std::exception &e) {
    std::cout << "Error detected: " << e.what()
        << '\n';
  }
  return 0;
}
```

Conclusion

Ressources

Des ressources pour plus d'informations :

- cplusplus.com
- cppreference.com
- Stack Overflow

Une série d'articles intéressante : Modern C++ for C Programmers