LE LANGAGE C++
MASTER 1
UN C ÉTENDU ?

Jean-Baptiste.Yunes@u-paris.fr
U.F.R. d'Informatique
Université de Paris

2020–2021

LA COMPILATION

gcc un compilateur polymorphe...

- gcc permet de compiler plusieurs langages (sauf exception) : C, C++, Objective-C, Fortran, Java et Ada
- gcc supporte les tous standards
- gcc est la base du dernier standard

Convention de nommage du code source :

- un code source C++ prend place dans un fichier d'extension `.cpp .C .cxx .cc .cp .c++`
- un fichier d'entête (ne contenant que des déclarations sauf exception cf. templates `.tcc`) est d'extension `.hpp .H .hxx .hh .h`

La compilation s'effectue en invoquant le compilateur sur le fichier source :

```
g++ -c fichier.cpp
```

cela génère un fichier objet

```
fichier.o
```

l'édition de lien peut être faite en invoquant le compilateur :

```
g++ -o fichierExécutable fichier.o
```

ces étapes peuvent être agrémentées d'options...

class bla {};

…déclarations…

bla.h

#include "bla.h"

…définitions…

bla.cpp

class bli {};

…déclarations…

bli.h

#include
#include

…défini

bli.cpp

g++ -c bla.cpp

g++ -c bli.cpp

…code machine…

bla.o

…code machine…

bli.o

g++ -o bla bla.o bli.o

…code machine…

libc++.so

…code machine
exécutable…

bla

on peut forcer le langage par l'intermédiaire de l'option `-x c++`

- gcc supporte c++98, c++03, c++11, c++14, c++17 (plus l'expérimental c++2a). L'option `--std=c++98` permet de sélectionner explicitement le standard (et non les extensions GNU)

- l'option `-pedantic` (ou `-pedantic-errors`) permet d'obtenir toutes les erreurs spécifiées du standard (en tant qu'erreurs et non avertissements)

LES MOTS RESERVES

Les mots réservés du C++

alignas alignof and eq asm auto bitand bitor bool
break case catch char char16_t char32_t class compl
const constexpr const_cast continue decltype default
delete do double dynamic_cast else enum explicit
export extern false float for friend goto if inline
int long mutable namespace new noexcept not not_eq
nullptr operator or or_eq private protected public
register reinterpret_cast return short signed sizeof
static static_assert static_cast struct switch
template this thread_local throw true try typedef
typeid typename union unsigned using virtual void
volatile wchar_t while xor xor_eq

en rouge les mots réservés normalisés par le C++11

LES OPÉRATEURS

- Les opérateurs du C++ (priorité 1) :

`::`	portée	`std::cout`

- Les opérateurs du C++ (priorité 2) :

`()`	appel de fonction	`f(3)`
`()`	initialisation membres	`A::A(int x) : s(4) {}`
`[]`	indice tableau	`t[4]`
`->`	accès par pointeur	`pIndividu->nom`
`.`	accès par objet	`individu.nom`
`++`	post-incrémentation	`i++`
`--`	post-décrémentation	`i--`
`const_cast`	coercition	`const_cast<dest>(src)`
`dynamic_cast`	coercition	`dynamic_cast<dest>(src)`
`static_cast`	coercition	`static_cast<dest>(src)`
`reinterpret_cast`	coertition	`reinterpret_cast<dest>(src)`
`typeid`	RTTI	`typeid(individu)`

- Les opérateurs du C++ (priorité 3) :

`! ou not`	non logique	`!true`
`~ ou compl`	complément b.àb.	`x = ~0x1f`
`++`	pré-incrémentation	`++x`
`--`	pré-décrémentation	`--x`
`-`	moins unaire	`a = -b;`
`+`	plus unaire	`c = +14;`
`*`	déréférencement	`(*pIndividu).nom`
`&`	adresse	`&individu`
`new`	allocation	`new int;`
`new []`	allocation tableau	`new int[56];`
`delete`	désallocation	`delete pIndividu;`
`delete []`	désallocation tableau	`delete [] ptIndividu;`
`(T)`	coercition	`(int)13.4`
`sizeof`	taille représentation	`sizeof(int), sizeof(i)`

- Les opérateurs du C++ (priorité *4*) :

`->*`	sélecteur (pointeur)	`p->*membre`
`.*`	sélecteur (objet)	`o.*membre`

- Les opérateurs du C++ (priorité 5) :

*	multiplication	a*b
/	division	a/b
%	reste modulo	a%b

- Les opérateurs du C++ (priorité 6) :

+	addition	a+b
-	soustraction	a-b

- Les opérateurs du C++ (priorité 7) :

<<	décalage gauche b.àb.	`1<<17`
>>	décalage droit b.àb.	`a>>4`

- Les opérateurs du C++ (priorité 8) :

<	inférieur strict	`if (a<b)`
<=	inférieur	`if (a<=b)`
>	supérieur strict	`if (a>b)`
>=	supérieur	`if (a>=b)`

- Les opérateurs du C++ (priorité 9) :

`== ou eq`	comparaison égalité	`if (a==b)`
`!= ou not_eq`	comparaison différence	`if (a!=b)`

- Les opérateurs du C++ (priorité 10) :

`& ou bitand`	et b.àb.	`0x12 & 0x4;`

- Les opérateurs du C++ (priorité 11) :

`^ ou xor`	ou-exclusif b.àb.	`0x12 ^ 0x4;`

- Les opérateurs du C++ (priorité 12) :

`| ou or`	ou b.àb.	`0x12 | 0x4;`

- Les opérateurs du C++ (priorité 13) :

  lazy evaluation

`&& ou and`	et logique	`if (a and b)`

- Les opérateurs du C++ (priorité 14) :

  lazy evaluation

`|| ou or`	ou logique	`if (pluie || neige)`

- Les opérateurs du C++ (priorité 15) :

`?:`	expression conditionnelle	`(a>b)?a:b`

- Les opérateurs du C++ (priorité 16) :

`=`	affectation	`a = 13`
`+=`	incrémentation et affectation	`a += 12`
`-=`	décrémentation et affectation	`a -= 12`
`*=`	multiplication et affectation	`a *= 2`
`/=`	division et affectation	`a /= 15`
`%=`	reste modulo et affectation	`a %= 5`
`&= ou`	et b.àb. et affectation	`x &= 0xff`
`^= ou`	ou-exclusif b.àb. et affectation	`x ^= 0xae`
`|= ou or_eq`	ou b.àb. et affectation	`x |= 0xae`
`<<=`	décalage gauche et affectation	`i <<= 2`
`>>=`	décalage droit et affectation	`i >>= 5`

- Les opérateurs du C++ (priorité 17) :

`throw`	levée d'exception	`throw Ex("incendie")`

- Les opérateurs du C++ (priorité 18) :

`,`	évaluation séquentielle	`a=3,b=7,f(4)`

- Les priorités permettent d'interpréter les expressions multi-opérateurs :

```
a+b*c
```

- Certains opérateurs sont gauches :

```
a+b+c+d ⟺ (((a+b)+c)+d)
```

- D'autres opèrent à droite :

```
a=b=c=d ⟺ (a=(b=(c=d)))
```

- Les commentaires :
  - multiligne

```
/*
 cette suite d'instructions est la plus
 importante du programme
*/
i = i+1;
j = i-1;
```

  - uniligne

```
i = i+1; // et un de plus!
```

LES VARIABLES

- un **type** est un ensemble de valeurs et un ensemble d'opérations associées
- un **objet** est un espace mémoire contenant une valeur d'un type donné
- une **valeur** est un mot binaire interprété dans un type donné
- une **variable** est un objet nommé
- une **déclaration** associe un nom à un objet
- une **définition** est une déclaration associant un espace mémoire à l'objet déclaré

- Quelques rappels sur les variables :

- Une **variable** est un contenant informatique nommé sur lequel des opérations de consultation et modification du contenu sont définies

  - la lecture produit une **r-value** simplification!

  - l'écriture se fait par l'intermédiaire de la **l-value**

- Le nom est appelé identificateur de variable.
  En C++ on parle aussi de **référence**

- La **déclaration** d'une variable :
  - consiste en la déclaration d'une **référence**
    - pour en contrôler sa portée/visibilité
  - nécessite un **type**
    - pour en contrôler l'usage

Déclaration = Référence + Type

- La **définition** d'une variable est :
  - une **déclaration** (agrémentée ou non d'un qualifieur : `auto`, `static`, ...)
  - associée à une **allocation** mémoire
  - le tout éventuellement suivi d'une **initialisation**

Définition = Déclaration + Allocation [+ Initialisation]

Attention, `auto` en c++11 sert à autre chose...

- Les usages d'une variable :
  - la consultation s'effectue en utilisant en r-value la référence
  - la modification s'effectue en utilisant en l-value la référence : instruction d'affectation
- Attention : initialisation et affectation sont deux opérations distinctes (il ne peut jamais y avoir qu'une seule initialisation pour une variable donnée!)

- En C++ :
  - une déclaration :

```
extern int i;
```

  - une définition :

```
int i;
```

  - une définition avec initialisation :

```
int i=4;
```

  - une affectation :

```
i=4;
```

- Attention :

```
int i;
i=4; // ceci n'est pas une initialisation
```

Pour les curieux = est un opérateur surchargé, i.e. s'utilise pour exprimer différentes choses...

- En C++ :
  - syntaxe fonctionnelle pour l'initialisation

```
int i(4);
```

qui s'interprète exactement comme

```
int i=4;
```

  - peut être utilisé pour n'importe quel type (on verra plus tard d'autres cas intéressants) :

```
double pi(3.1415);
char c('x');
```

- En C++11, il existe trois syntaxes (!?) pour l'initialisation :

```
int i=4;
```

```
int i(4);
```

```
int i{4};
```

- On étudiera plus tard les différences induites par ces initialisations

La forme préférée en C++11 est {}

```
double pi(3.1415), angle;
angle = pi/2;
...
char c('x');
c += 2;
...
for (int i=0; i<10; i++) {
  ...
}
```

définitions

instruction

définition

instruction

définition

- pour `for` : la définition a la portée de la boucle... Attention c'était anciennement faux pour les compilateurs ©Microsoft!

LES CONSTANTES
EXPRESSIONS CONSTANTES
ET
VARIABLES CONSTANTES

- Les **expressions constantes** (c++11)
  - une expression constante doit être définie avec le **mot-clé** `constexpr`

```
constexpr double pi = 3.1415926;
constexpr double pi_sur_2 = pi/2;
```

  - les valeurs des variables de ce genre sont **nécessairement** déterminées à la compilation

- de telles variables peuvent être utilisées partout où des constantes sont attendues :

```
constexpr int taille = 30;
…
double tableau[taille];
…
switch (something) {
  case taille:
    …
}
```

- ces variables sont non modifiables…

sont à utiliser de préférence en lieu et place de `#define`

- Les **types constants** : `const` *type*

  - interdit l'usage en tant que l-value, i.e. les opérateurs qui modifient la valeur de la variable du type considéré (ex: =, ++)

  - initialisation obligatoire

  - le reste est identique au type non-constant

```
const double avogadro = 6.022E23;
const double racineDeTrois = 1.732;
avogadro = 34; // interdit


const double *pointeurSurConstante = &avogadro;
pointeurSurConstante = &racineDeTrois;
*pointeurSurConstante = 12; // interdit


double rapport = 24, longueur = 4.5;
double *const pointeurRapport = &rapport;
*pointeurRapport = 89;
pointeurRapport = &longueur; // interdit


const double * const pConstanteDAvogadro = &avogadro;
pConstanteDAvogadro = &racineDeTrois; // interdit
*pConstanteDAvogadro = 28.9; // interdit
```

- Dans les prototypes :

```
char *strcpy(char *dst,const char *src);
```

```
char *s = new char[100];
const char *t = “Bonjour“;
strcpy(s,t);
strcpy(t,s); // interdit
char *u = new char[100];
strcpy(u,s);
```

- on a la garantie que les caractères de la chaîne source ne seront pas modifiés lors d’un appel à la fonction
- celui qui implémente la fonction ne peut modifier les caractères de l’argument constant

- En C++ :
  - les constantes sont des variables (contraintes car non modifiables) qui peuvent être employées partout où des littéraux constants peuvent l'être :

```
const int DIMENSION = 100;

int tableau[DIMENSION];
for (int i=0; i<DIMENSION; i++) {
  ...
}
```

- `constexpr` vs `const` ?
- les `constexpr` sont des variables constantes déterminées à la compilation
- les `const` sont des variables constantes dont la valeur n'est pas nécessairement déterminée/connue à la compilation mais parfois à l'exécution

LES TABLEAUX

- En C++11 il est recommandé d'utiliser le type `vector` au lieu des tableaux hérités du C :

```
#include <vector>
vector<int> monTableau = { 1, 2, 3, 4, 5 };
monTableau[2] += 10;
cout << monTableau[3] << endl;
```

- on bénéficie des initialisations avec des séquences, etc.

- on peut itérer sur les éléments d'un `vector` avec la boucle sur les **séquences** :

```
#include <vector>
vector<int> monTableau = { 1, 2, 3, 4, 5 };
for (int i : monTableau) {
  …
}
```

- Attention : les `vector` C++ ne lèvent pas d'exception lors d'accès logiquement erronés via `[]`. Les accès via `.at()` sont par contre sûrs.

L'ALLOCATION DYNAMIQUE

L'allocation dynamique en C++ new :

- new *type*

```
int *pi = new int;
*pi = 12; // affectation!!!!
```

- new *type(valeur initiale)*

```
int *pi = new int(12); // initialisation
```

- new *type[dimension]*

```
int *t = new int[12]; // tableau!?
```

- **pas d'initialisation de tableaux à l'allocation dynamique**

Attention : ne pas employer `new` et `malloc/calloc` en même temps. On fait du C ou du C++.

L'allocation dynamique en C++ delete :

- `delete` *adresse*

```
int *pi = new int;
*pi = 12; // affectation!!!!
delete pi;
```

- `delete []` *adresse*

```
int *t = new int[12]; // tableau!?
delete [] t;
```

Attention : ne pas employer **`delete`** et **`free`** en même temps.
On fait du C ou du C++.

LE PROTOTYPAGE

Le prototypage en C++

- obligatoire! C++ est bien plus strict que le C
- déclaration d'une fonction appelée `f`, prenant 3 arguments respectivement un entier, un flottant et un entier, et renvoyant une valeur entière :

```
int f(int i1,float f1,int i2);
```

- déclaration d'une fonction ne prenant PAS d'arguments (et renvoyant un entier) :

```
int f();
```

attention car en C c'est `int f(void)` car `int f()` signifie fonction à nombre d'arguments indéfini!

C++ est un langage fortement typé

Les **valeurs par défaut** en argument (sont à placer dans les déclarations)

```
constexpr int RADIAN=0;
constexpr int DEGRE=1;
constexpr int GRADE=2;

double sinus(double angle,
             const int unite=RADIAN);

void main() {
  double angle=3.14, s;
  s = sinus(angle);
  double angleEnDegres = 90, sd;
  sd = sinus(angleEnDegres,DEGRE);
}
```

Les valeurs par défaut en argument

- un **polymorphisme** très pauvre
- ne peuvent être arbitrairement mélangées. La liste des arguments d'une fonction est sécable en deux parties (éventuellement vides)
  - d'abord les arguments sans valeur par défaut (à l'appel il doivent tous être spécifiés)
  - ensuite ceux avec valeur par défaut (à l'appel on peut spécifier des valeurs pour les premiers d'entre eux et laisser le compilateur compléter la spécification à l'aide des valeurs par défaut)

```
void f(int a,int b,int c=1,int d=2,int e=3);
void main() {
    f(10,11,13); // équiv. f(10,11,13,2,3);
}
```

La glu C/C++

- pour déclarer une fonction C à utiliser dans le monde C++, il faut la déclarer comme telle (le nommage des liens, les transmissions d'arguments peuvent être (et sont généralement) différents d'un monde à l'autre) :

```
extern "C" int f(int);
extern "C" {
  int g(int);
  void h(float);
}

...
  f(4);
  h(5.4f);
...
```

LA SURCHARGE

- Comment résoudre élégamment le problème suivant :
  - Écrire une fonction permettant d'additionner deux entiers, puis une autre deux flottants… En C :

```
int add(int a, int b) { return a+b; }
```

```
int   add1(int a  , int b)   { return a+b; }
float add2(float a, float b) { return a+b; }
```

mais il faut de la mémoire ou une bonne documentation….

La **surcharge de fonctions**

- Écrire une fonction permettant d'additionner deux entiers, puis une autre deux flottants. En C++

```
int   add(int a  , int b)   { return a+b; }
float add(float a, float b) { return a+b; }
```

pas de problème de conflit de nom, le compilateur est suffisamment malin pour deviner quoi faire

avec :

```
int neuf = add(4,5);
float f = add(4.6f,99.23f);
char c = 12; int i = add(c,14); // promotion char➟int
```

Attention : la détermination de la fonction adéquate n'utilise que la **signature** des fonctions

Signature : identificateur + liste des types des arguments
Prototype : Signature + type de la valeur de retour

La directive `inline` :

- permet d'économiser l'appel de fonction...
  mais peut être ignorée par le compilateur...
  donc inutile d'y prêter (trop) attention...

```
inline int f(int a,int b) { ... }
```

même rôle que la macro-définition mais avec vérification des types et sans effet secondaire.

PORTABILITÉ C/C++

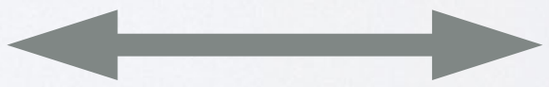
- Incompatibilités C/C++ :
  - types structurés. En C, `struct type` est le nom du type défini, en C++ `type` est le nom du type définit par `struct type {};`
  - en C++ les types imbriqués le sont vraiment! En C, ils sont aplatis :

```
struct Vehicule {
  struct Moteur {
  };
};
Vehicule k;
Vehicule::Moteur m;
```

En C++

```
struct Vehicule {
  struct Moteur {
  };
};
struct Vehicule k;
struct Moteur m;
```

```
struct Vehicule {
};
struct Moteur {
};
struct Vehicule k;
struct Moteur m;
```

En C  En C

Utilisation de l'opérateur de portée : :

LES PORTEES DES NOMS

- L'opérateur : : pour contrecarrer l'effet du masquage :

```
// une variable globale
int v;

int f(int v) {
   v = 3;
   ::v = 3;
   return 12;
}
```

un paramètre (var. locale)

accès à la variable locale

accès à la variable globale

En réalité l'opérateur permet d'accéder à un nom dans un contexte donné (espace de noms)

pas de contexte (mais opérateur) = contexte global

- Les espaces de noms en C++ :
  - les conflits de noms sont inévitables mais comment limiter leur impact ? En encapsulant les déclarations dans des espaces de noms...

```
namespace math {
 double pi = 3.1415926;
 double e = 2.718;
}
```
maths.hpp

```
namespace chimie {
 char *e = “C5H9NO4“;
}
```
chimie.hpp

```
#include “math.hpp“
#include “chimie.hpp“

float quatreVingtDixDegresEnRadians = math::pi / 2;
char *acideGlutaminique = chimie::e;
```
ailleurs.cpp

- Usage du namespace via l'opérateur de portée ::

```
#include <iostream>

int main() {
  std::cout << “Bonjour tout le monde“ << std::endl;
  return 0;
}
```

- Le compilateur retrouve ses petits s'il n'y a pas d'ambiguïté via la mise à plat des espaces de noms :

```
#include <iostream>

using namespace std;

int main() {
  cout << “Bonjour tout le monde“ << endl;
  return 0;
}
```

- Il existe un espace de noms (par défaut) sans nom
- on peut imbriquer les espaces de noms

```
namespace one {
 namespace two {
  const int zero = 0;
 }
}
one::two::zero;
```

- on peut définir des alias d'espace de noms

```
namespace MonEspace { const int zero = 0; }
namespace MySpace = MonEspace;

MonEspace::zero; // équiv. MySpace::zero;
```

LE PASSAGE DE PARAMÈTRES

- Le C++ possède essentiellement deux modes de passage d'arguments
  - La transmission par valeur (à la C)
  - La transmission par référence (à la `var` du Pascal ou `in out` d'ADA)

Attention : le langage définit plusieurs autres passages mais il ne s'agit que de variantes des modes par valeur et par référence.

- La **transmission par valeur** *pass-by-value*
  - création d'une variable locale à la fonction initialisée avec la valeur transmise (création d'une copie)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int f(int i, int j) {
  cout << &i << ',' << &j << endl;
 return i +=j;
}

int main() {
  int a{3}, b{12};
  cout << &a << ',' << &b << endl;
  cout << a << ',' << b << endl;
  f(a,b);
  cout << a << ',' << b << endl;
  return 0;
}
```

```
[Ciboulette]./test
0x7fff5ac3f978,0x7fff5ac3f974
3,12
0x7fff5ac3f91c,0x7fff5ac3f918
3,12
[Ciboulette]
```

- La **transmission par valeur** *pass-by-value*
  - Attention : le passage par pointeurs n'existe pas… Les pointeurs sont des types. Passer un pointeur comme paramètre à l'appel ne constitue que la transmission de sa valeur (si on utilise un passage par valeur).

- La **transmission par référence** pass-by–reference

  - pour éviter la copie de variables volumineuses, il est possible de transmettre la variable elle-même et non sa valeur

  - la variable peut donc être modifiée durant l'appel

```cpp
#include <iostream>
using namespace std;

void echangeNous(int &x, int &y) {
  int tmp = x;
  x = y;
  y = tmp;
}

int main() {
  int a{123}, b{321};
  cout << a << ',' << b << endl;
  echangeNous(a,b);
  cout << a << ',' << b << endl;
  return 0;
}
```

```
[Ciboulette]./test3
123,321
321,123
[Ciboulette]
```

- La **transmission par référence constante** *pass-by-const-reference*
  - pour éviter la copie de variables volumineuses, il est possible de transmettre la variable elle-même et non sa valeur
  - pour protéger la variable de modifications non souhaitée dans la fonction

```cpp
#include <iostream>
using namespace std;

struct MonType {
  int t[10000];
};

void f(MonType v) { // copie
  cout << &v << endl;
}

void g(const MonType &v) { // pas de copie
  cout << &v << endl;
  // v.t[10] = 123; // interdit!
}

int main() {
  MonType a;
  cout << &a << endl;
  f(a);
  g(a);
  return 0;
}
```

```
[Ciboulette]./test2
0x7fff54c57c08
0x7fff54c44360
0x7fff54c57c08
[Ciboulette]
```

- Attention, en ce qui concerne les copies :
  - les compilateurs C++ sont explicitement autorisés à utiliser des optimisations pour les éviter
    - RVO : Return Value Optimization
    - CE : Copy Elision
- Consultez la documentation du compilateur si nécessaire!

LES FONCTIONS CONSTEXPR

- On a déjà vu la possibilité de définir des constantes d'expression via `constexpr`
  - équivalent propre de constantes définies par `#define`
- L'écriture de ces expressions pourrait-être simplifiée par l'emploi de fonctions
  - les fonctions constexpr sont l'équivalent propre des macro-fonctions définies par `#define`

- Old C

```
#define PI 3.1415926
#define hypothenuse(x,y) \
                        (sqrt((x)*(x)+(y)*(y)))
```

- Old C++

```
#define hypothenuse(x,y) \
                        (sqrt((x)*(x)+(y)*(y)))
const double PI = 3.1415926
```

- C++11

```
constexpr double divideBy2(const double v) {
  return v/2.0;
}
constexpr double PI = 3.1415926;
constexpr double PI_SUR_2 = divideBy2(PI);
```

- Une fonction `constexpr` peut-être évaluée à la compilation lorsqu'elle est appelée avec des expressions constantes
  - sinon elle se comporte comme une fonction ordinaire!
- Pour cela, elle ne peut comporter de boucles (pas de `for`, `while`, etc) - entre autres. Cette fonction doit pouvoir être évaluée à la compilation! (évolution vers C++14)