Programmation C++11/17

Dr. Ing. Chiheb Ameur ABID

Contact : chiheb.abid@gmail.com

Mars 2024

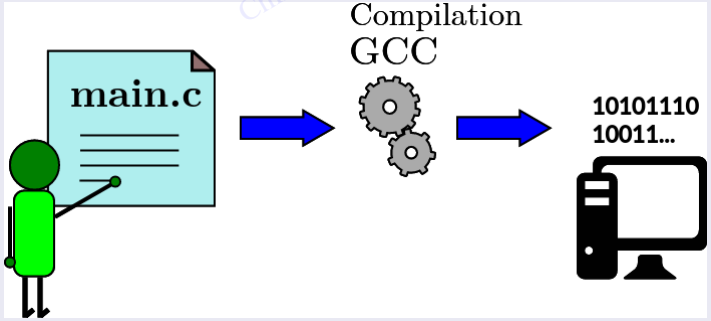
Plan

Les langages C/C++

Les langages C et C++

- Performance (Langages compilés)
- Empreinte mémoire faible
- Portabilité
- Bibliothèques existantes (C depuis 1971, C++ depuis 1983)

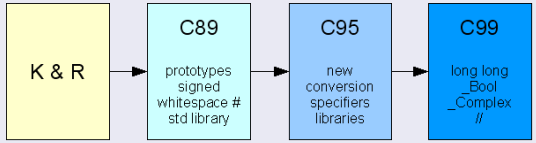
Compilation



Les langages C/C++

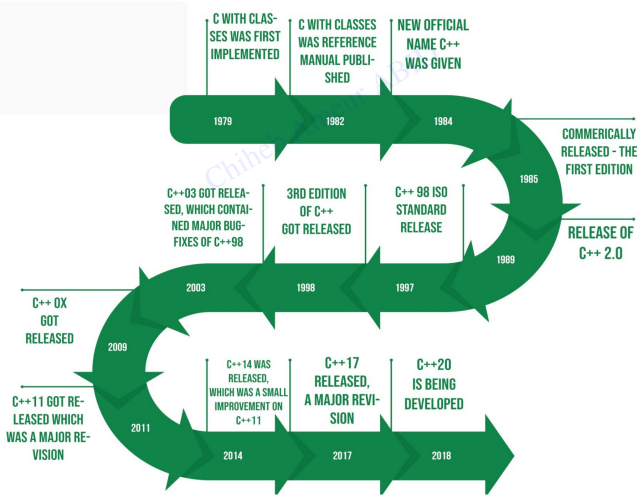
Historique

- En 1970, Ken Thompson, créa un nouveau langage : Le B
  - Simple, mais trop dépendant de l'architecture utilisée
- En 1971, Dennis Ritchie commence à mettre au point le successeur du B, le C.
  - Portable,
  - Langage bas niveau : performant (peut créer du code aussi rapide que de l'assembleur)
  - Permet de traiter des problèmes de haut niveau
- En 1989, l'ANSI (American National Standards Institute) normalisa le C sous les dénominations ANSI C ou C89



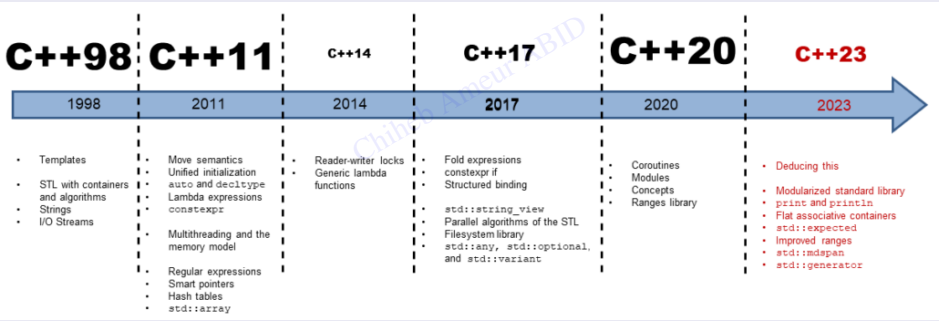
Historique

- En 1983, Bjarne Stroustrup des laboratoires Bell crée le C++
  - Basé sur le C, il garde une forte compatibilité avec le C
- La première normalisation de C++ date de 1998 (C++98)



Évolution de C++

Évolution de C++



Compilation

Principaux compilateurs C/C++

- GCC (GNU Compiler Collection) : il s'agit d'un ensemble d'outils Open Source analysant plusieurs langages (C, C++, Objective C, Ada, Go, Fortran...)
  - Supporte une multitude d'architectures cibles
  - GCC autorise la compilation croisée
  - GCC est disponible sous la plupart des systèmes de type Unix (comme Linux) et sous Windows en utilisant l'environnement Cygwin
- Clang : c'est la principale alternative au compilateur C++ de GCC
  - Il s'intègre au sein du projet plus global LLVM (framework de développement de compilateur) pour générer une représentation compilée intermédiaire traduisible ensuite sur différentes architectures
  - Clang, de conception plus récente, possède une architecture plus modulaire que GCC et permet d'obtenir des programmes offrant des performances plus ou moins similaires à GCC
- Intel C++ Compiler : compilateur propriétaire (et gratuit) est développé par Intel pour la compilation à destination de ses propres processeurs (de type x86) en utilisant certaines optimisations maison.
- Visual C++ Compiler : compilateur propriétaire de Microsoft pour Windows accompagne l'environnement de développement Visual Studio de Microsoft

Compilation

Compilateur GCC

- GCC est un logiciel libre capable de compiler divers langages de programmation, dont C, C++, Objective-C, Java, Ada et Fortran
- Pour faire référence précisément aux compilateurs de chaque langage

  gcc : le compilateur C de GNU
  g++ : le compilateur C++ de GNU
  gcj : le compilateur Java de GNU
  gobjc : le compilateur Objective-C de GNU
  gobjc++ : le compilateur Objective-C++ de GNU
  gnat : le compilateur Ada de GNU
  gfortran : le compilateur Fortran de GNU

Compilation

Compilateur GCC

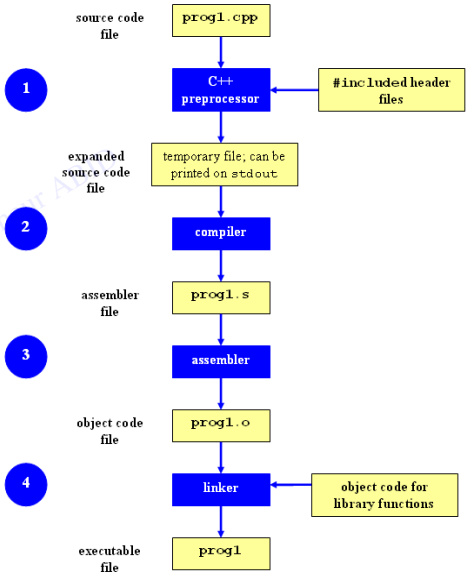
- Installer GCC
  `$ sudo apt-get install build-essential`
- Compiler un programme
  - Programme écrit C
    `$ gcc main.c fonctions.c -o Programme`
  - Programme écrit en C++
    `$ g++ main.cpp fonctions.cpp -o Programme -std=c++17`
- Pour le lancer le programme
  `$ ./Programme`

Compilation

Toolchain

Un toolchain est constitué par un ensemble d'outils permettant de produire le fichier exécutable

- C++ Preprocessor : Inclure le contenu des fichiers entêtes (headers), générer les macros et remplacer les constantes définies par *#define*
  g++ $-E$ fichier.cpp
- Compiler : Traduire en assembleur
  g++ $-S$ fichier.cpp
- Assembler : produire fichier objet binaire en traduisant les instruction assembleur en langage machine (binaire)
  g++ $-c$ fichier.cpp
- Linker : édition des liens du fichier objet avec les autres fichiers objets de n'importe quelle bibliothèque utilisée afin de produire le fichier exécutable



Plan

Les littéraux

Présentation

- Un littéral (aussi appelé constante littérale) est une valeur écrite exactement comme elle doit être interprétée.
- Exemples de littéraux

```
1  "Bonjour, le monde"
2  "Bjarne"
3  'a' // Caractère minuscule a
4  'A' // Caractère majuscule A
5  123
6  123U // Entier non signé 123
7  1'000'000 // Entier séparé par des apostrophes pour la lisibilité
8  3.1415 // Nombre décimal
9  1.0L // Nombre décimal avec suffixe L indiquant un long
10 1.23456789e-10 // Nombre scientifique
```


Littéraux de caractère

Littéraux de caractère

- Un littéral de caractère est constitué d'un préfixe optionnel suivi d'un ou plusieurs caractères placés entre apostrophes simples.
- Le type de littéral de caractère est déterminé par le préfixe (ou son absence)
  1. Littéraux de caractères ordinaires de type `char`, par exemple `'a'`
  2. Littéraux de caractères étendus de type `wchar_t`, par exemple `L'a'`
  3. Littéraux de caractères UTF-16 de type `char16_t`, par exemple `u'a'`
  4. Littéraux de caractères UTF-32 de type `char32_t`, par exemple `U'a'`
- Les caractères spéciaux peuvent être représentés par une séquence d'échappement

Les chaînes littérales brutes

Littéraux de chaines de caractères

- C++11 a introduit les chaines littérales brutes pour ne pas interpréter les caractères spéciaux
  - ☞ Il suffit de mettre la chaine de caractères entre `R("` et `")`

Exemple

- Soit à afficher la chaine :

```
printf("Hello, %s%c\n", "World", '!');
```

- En C++03

```
std::cout << "printf(\"Hello, %s%c\\n\", \"World\", '!');"<<std::endl;
```

- En C++11

```
std::cout << R"(printf("Hello, %s%c\n", "World", '!');)" <<std::endl;
```

Les littéraux entiers

Littéraux de chaines de caractères

- Les entiers peuvent être spécifiés en base décimale, binaire, hexadécimale et octale
- La base du nombre est indiquée par un préfixe (ou son absence)

Préfixe	Base
Aucun	Décimale
`0` initial	Octale
`0b` ou `0B`	Binaire
`0x` ou `0X`	Hexadécimale

- Différents suffixes peuvent être spécifiés pour contrôler le type du littéral

Suffixe	Type
u ou U	unsigned (entier non signé)
l ou L	long (long int)
u ou U et l ou L (ensemble)	unsigned long long (entier non signé long long)
ll ou LL	long long (long long int)
u ou U et ll ou LL (ensemble)	unsigned long long (entier non signé long long)

- Un apostrophe simple est utilisé comme séparateur de chiffres : `1'000'000`
- Un littéral entier est toujours non négatif ; ainsi, par exemple, -1 est le littéral entier 1 avec l'opération de négation appliquée

Littéraux définis par l'utilisateur

Littéraux définis par l'utilisateur

- Les littéraux définis par l'utilisateur sont une fonctionnalité du langage qui permet de créer des raccourcis syntaxiques pour des valeurs ou des expressions courantes, en utilisant des suffixes personnalisés
- Étapes de création des littéraux définis par l'utilisateur
  - Définir les littéraux dans un espace de noms séparé pour éviter les conflits de noms.
  - Toujours préfixer le suffixe défini par l'utilisateur avec _
  - Définir un opérateur littéral de l'une des formes :

```
1  T operator "" _suffix(unsigned long int);
2  T operator "" _suffix(long double);
3  T operator "" _suffix(char);
4  T operator "" _suffix(wchar_t);
5  T operator "" _suffix(char16_t);
6  T operator "" _suffix(char32_t);
7  T operator "" _suffix(char const *, std::size_t);
8  T operator "" _suffix(wchar_t const *, std::size_t);
9  T operator "" _suffix(char16_t const *, std::size_t);
10 T operator "" _suffix(char32_t const *, std::size_t);
```


Littéraux définis par l'utilisateur

Exemple de définition d'un littéral

```
namespace compunits
{
  constexpr size_t operator "" _KB(unsigned long long const size)
  {
    return static_cast<size_t>(size * 1024);
  }
}

auto size{ 4_KB }; // size_t size = 4096;
using byte = unsigned char;
auto buffer {std::array<byte, 1_KB>{}};
```


Plan

Espace de noms

Présentation

- Un espace de noms est une région qui fournit une portée aux identificateurs déclarés à l'intérieur
  - Les espaces de noms fournissent un mécanisme pour réduire le risque de conflits de noms
- Syntaxe

```
1 namespace nom {
2   // Corps de l'espace de noms (code)
3   ...
4 }
```

  - nom : Identifiant qui nomme l'espace de noms
  - Corps de l'espace de noms : Code contenu dans l'espace de noms
- Évolutions des espaces de noms
  - C++11 : espaces de noms `inline`
  - C++17 : espaces de noms imbriqués

Espace de noms

Utilisations

- Utilisation de différents modules et bibliothèques dans un programme
  - Problème dit de ń pollution de l'espace de noms ż : Un même identificateur peut être utilisé par plusieurs modules ou bibliothèques
  - Risque d'ambiguité

Exemple d'espace de noms

- Donner un nom à un espace de déclaration

```
1 namespace mon_module {
2   //declarations usuelles
3   extern double taux;
4   double conversion(double);
5 }
```

Espace de noms

Utiliser les espaces de noms

- Pour se référer à des identificateurs définis dans un espace de noms, on utilise l'opérateur `::` de résolution de portée

```
1 double mon_module::taux=6.5;
2 std::cout << mon_module::conversion(1);
```

  - On dit aussi que l'on se réfère à l'identificateur `taux` déclaré dans la portée de `mon_module`

- À l'intérieur de `mon_module`, on utilise directement le nom `taux`

```
1 double mon_module::conversion(double a)
2 {
3   return a*taux; // mon_module::taux
4 }
```

- L'espace des déclarations globales d'un programme est aussi un espace de noms dit portée globale
  - `::x` fait référence à l'identificateur `x` de la portée globale

Espace de noms

Utiliser les espaces de noms

- La déclaration `using` permet de faire entrer (connaître) un identificateur dans la portée courante

```
1 using mon_module::taux;
2 std::cout << taux;
```

  - Si on fait entrer `taux` dans la portée globale alors `::taux` et `mon_module::taux` deviennent des écritures équivalentes
  - Attention : il ne doit pas y avoir d'autre `taux` dans la portée courante

- La directive `using` permet de rendre visibles les noms définis dans un espace de noms

```
1 using namespace mon_module;
2 std::cout << conversion(3);
```

Espace de noms

Utilisation de la directive `using`

- Risques d'ambigüités si plusieurs espaces de noms comportant des identificateurs identiques sont rendus visibles

```
1 using namespace mon_module;
2 //espace de nom declarant taux
3 using namespace son_module;
4 //espace de nom declarant taux
5 std::cout << taux; //appel ambigu
```

- Le compilateur signale
  - Les ambigüités entre identifiants des espaces de noms rendus visibles
  - Mais pas les surcharges de fonctions à travers les espaces de noms !
- Il est parfois plus prudent d'utiliser une déclaration `using` qu'une directive `using` !

Espace de noms

Espace de noms imbriqués

- Permettent de créer une hiérarchie d'espaces de noms
  - Une organisation plus fine du code et une meilleure gestion des conflits de noms.
- Utilisation des espaces de noms imbriqués

```
1 namespace foo {
2   namespace bar {
3     namespace impl {
4       // ...
5     }
6   }
7 }
```

- En C++, une écriture équivalente

```
1 // Une autre écriture équivalente
2 namespace foo::bar::impl {
3   // ...
4 }
```


Espace de noms

Espace de noms inline

- Permet de créer des espaces de noms imbriqués dont les membres sont automatiquement considérés comme faisant partie de l'espace de noms englobant.
  - Les inline namespaces sont utilisés pour gérer les versions d'une bibliothèque et éviter les conflits de noms entre les différentes versions

Exemple de gestion des versions avec `inline namespace`

```
namespace modernlib
{
  #ifndef LIB_VERSION_2
  inline namespace version_1 {
    template<typename T>
    int test(T value) { return 1; }
  }
  #endif
  #ifdef LIB_VERSION_2
  inline namespace version_2 {
    template<typename T>
    int test(T value) { return 2; }
  }
  #endif
}
```


Alias d'espaces de noms

- Un alias de namespace est un identificateur qui peut être introduit comme un alias pour un espace de noms entier
  - permet de créer des noms plus courts pour les namespaces imbriqués en profondeur ou les namespaces avec des noms longs
- Syntaxe

  `namespace alias name = ns::name;.`

```
namespace foobar {
  namespace miscellany {
    namespace experimental {
      int get_meaning_of_life() {return 42;}
      void greet() {std::cout << "hello\n";};
    }
  }
}
int main() {
  namespace n = foobar::miscellany::experimental; // Définition d'un alias
  n::greet();
  std::cout << n::get_meaning_of_life() << \n;
}
```

Espace de noms

Espaces de noms anonymes

- Les entités définies dans un namespace anonyme ne sont visibles que dans son unité de traduction associée
  - ☞ Elles ne sont pas accessibles depuis d'autres unités de traduction
- Syntaxe

```
namespace alias name = ns::name;.
```



```
1 namespace {
2   const int forty_two = 42;
3   int x;
4 }
5 int main() {
6   x = forty_two;
7   std::cout << x << \n;
8 }
```

- ☞ La constante `forty_two` et la variable statique `x` sont uniquement accessibles dans le fichier source où ils sont définis

Plan

Divers

La constante `nullptr` (depuis C++11)

- En C++, la constante `NULL` correspond à la valeur entière `0` pour représenter un pointeur nul
  - ☞ Source d'ambiguïté
- La constante `nullptr` vise a résoudre ce problème


```
1 void foo(char *);
2 void foo(int);
```

☞ L'appel `foo(NULL)` va appeler probablement `foo(int)`

```
1 char *pc = nullptr; // OK
2 int *pi = nullptr; // OK
3 bool b = nullptr; // OK. b is false.
4 int i = nullptr; // error
5 foo(nullptr); // calls foo(char *), not foo(int);
```


Les expressions `constexpr`

Présentation

- Les expressions `constexpr` ont été introduites en C++11
- `constexpr`
  1. Déclarer une variable constante dont la valeur est connue lors de la compilation
  2. Définir une fonction qui peut produire une valeur constante à la compilation si ses arguments sont des valeurs constantes
- L'objectif est de réaliser des calculs pendant la compilation
- En C++, la méta-programmation se base sur les templates méta-fonctions et les fonctions `constexpr`
  - ☞ Écrire du code qui sera interprété non pas à l'exécution, mais pendant la compilation

constexpr

Les fonctions `constexpr`

- En C++11, une `constexpr` est assez restrictive
  - Elle ne peut rien lire ou écrire en dehors de la fonction
  - Elle ne peut pas contenir de variables
  - Ne peut pas contenir de structures de contrôle comme `if` ou `for`
  - Elle ne peut contenir qu'une seule instruction de calcul
  - Elle ne peut appeler que des fonctions qui sont également constexpr.

Exemple

```
constexpr long fibonacci (long n)
{
  return n <= 2 ? 1 : fibonacci ( n - 1) + fibonacci (n - 2);
}

auto x1 {fibonacci(2)}; // Run-time execution
constexpr auto x2 {fibonacci(2)}; // Compile-time execution
```


constexpr

Les fonctions `constexpr`

- En C++17, moins de restrictions ont été imposée sur une fonction `constexpr`
  - Doit avoir un type de retour littéral : un type qui peut être utilisé dans une expression constante, comme un type intégral, un type flottant, un pointeur, une référence, une énumération, ou une classe avec un constructeur constexpr.
  - La fonction ne doit pas avoir de spécificateur virtuel, `override`, `final`, ou `noexcept`
  - Pas des allocations dynamiques, pas des appels à des fonctions non constantes, pas des modifications de variables globales, ou des instructions `goto`
  - Peut appeler d'autres fonctions constexpr, mais pas des fonctions non constantes, sauf si elles sont marquées comme `consteval` ou `constinit`.
  - Peut contenir des instructions `if`, `switch`, for, while, ou do-while, mais pas des instructions break ou continue qui ne sont pas immédiatement suivies d'une instruction de fin de bloc.
  - Peut contenir des variables locales, mais elles doivent être initialisées avec des expressions constantes
  - Peut contenir des assertions statiques, des déclarations `using`, des déclarations `typedef`, ou des déclarations de types anonymes.
  - Peut contenir des expressions lambda, mais elles doivent être marquées comme `constexpr` et respecter les mêmes restrictions que la fonction englobante.

constexpr

Exemple avec constexpr en C++17

```
1  constexpr int factorial(int n) {
2    int result {1};
3    for (int i {1}; i <= n; ++i) {
4      result *= i;
5    }
6    return result;
7  }
8
9  auto x1 (factorial(2)); // Run-time execution
10 constexpr auto x2 (factorial(2)); // Compile-time execution
```


Le "range-based" for loop

Le range-based for loop

- Depuis C++11, une nouvelle variante de la boucle for a été introduite pour parcourir une collection des valeurs : tableaux ou conteneurs

```
1 for(type d'un élément ou auto identifiant : tableau/conteneur à parcourir) {
2 // Manipuler identifiant, en l'affichant par exemple.
3 }
```

- Exemple : par recopie

```
1 int tab[] { 1, 2, 3, 4, 5 };
2 for (auto elt : v)
3 std::cout << elt << '\n';
```

  - elt contient une copie d'un élément du tableau
  - La modification de elt ne modifie pas la valeur dans le tableau

- Exemple : par référence

```
1 int tab[] { 1, 2, 3, 4, 5 };
2 for (auto &elt : v)
3 std::cout << elt << '\n';
```

  - On ajoute const pour empêcher la modification des valeurs

Initialisation uniforme

Initialisation uniforme

- Fonctionnalité introduite avec le standard C++11
- Utiliser une syntaxe cohérente pour initialiser des variables et des objets, allant des types primitifs aux agrégats
  - Éviter certaines ambiguïtés syntaxiques
  - Prévenir les conversions implicites
- Basée sur l'utilisation des accolades { }

```
type var_name{arg1, arg2, ....arg n}
```

- Éviter l'ambiguité avec l'opérateur d'affectation

```
1       std::vector<int> v1={1,2,3};
2       auto v2=v1; // Pas d'effectation ; constructeur par recopie
3       auto v3 {v1};
```

Initialisation uniforme

Initialisation uniforme

- Initialisation des types primitifs
  - Légèrement plus sûre pour les conversions étroites

```
1 int count1(7.5); // Peut compiler sans avertissement
2 int count2 = 5.3; // Peut compiler sans avertissement
3 int count3{0.3}; // Au moins un avertissement, souvent une erreur
```

- Initialisation par valeur
  - Initialise à 0 les types primitifs
  - Fait appel au constructeur par défaut pour les classes

```
1 int x; // Valeur quelconque
2 int i{}; // i prend 0
```

  - Éviter une ambiguïté syntaxique

```
1 std::string s1(); // Déclaration d'une fonction qui renvoie un std:string
2 std::string s2{}; // Création d'une chaine vide
3 std::string s3; // Création d'une chaine vide
```

Initialisation uniforme

Initialisation uniforme

- Initialisation des agrégats
  - Tableaux

```
int arr[] { 1, 2, 3, 4 };
float numbers[] = { 0.1f, 1.1f, 2.2f, 3.f, 4.f, 5. };
int nums[10] { 1 }; // 1, puis des 0s
```

  - Structures

```
struct CarInfo {
  std::string name;
  unsigned year;
  unsigned seats;
  double power;
};
CarInfo any; // Des valeurs aléatoires pour les membres de types primitifs
CarInfo empty{}; // 0 pour les membres de types primitifs
CarInfo firstCar{"Megane", 2003, 5, 116 };
CarInfo partial{"unknown"}; // Les autres champs prennent la valeur 0
CarInfo largeCar{"large car", 1975, 10};
```

Initialisation uniforme

Initialisation uniforme

- Initialiser les objets

```
Type objet {...};
```

- L'initialisation d'un objet est effectuée selon l'ordre suivant :
  1. Les constructeurs à liste d'initialisation utilisant un paramètre de type `std::initializer_list<T>`
  2. Les autres constructeurs
  3. L'affectation directe des membres : n'est autorisée que pour les tableaux et les classes si toutes les variables (non statiques) sont publiques et que la classe n'a pas de constructeur défini par l'utilisateur

Initialisation uniforme

Initialisation uniforme d'un objet

```
1  struct Box { };
2  struct Product {
3    Product(): name{"default product"} { }
4    Product(const Box& b) : name{"box"}{ }
5    std::string name;
6  };
7
8  Product p(); // Erreur : déclaration d'une fonction ?
9  Product p1; // OK
10 Product p{}; // OK
11
12 Product q(Box()); // Erreur : déclaration d'une fonction
13 Product p2{Box()}; // OK
14 Product p2{Box{}}; // OK
```


Initialisation uniforme

Attention !!!

- Lorsque vous utilisez des initialiseurs accolés avec le mot-clé auto, il est important de faire attention
  - Avec C++11 et C++14, l'initialisation d'une valeur unique est interprétée comme `std::initializer_list<int>`
  - Par contre avec C++17, l'initialisation d'une valeur unique est interprétée comme valeur unique


```
1  /* C++11 and C++14 */
2  auto i {10}; // i est de type std::initializer_list<int> !!!
3  auto pi = {3.14159}; // pi est de type std::initializer_list<double>
4  auto list1{1, 2, 3}; // list1 est de type std::initializer_list<int>
5  auto list2 = {4, 5, 6}; // list2 est de type std::initializer_list<int>
6
7  /* C++17 */
8  auto i {10}; // i has type int
9  auto pi = {3.14159}; // pi has type std::initializer_list<double>
10 auto list1{1, 2, 3}; // error: does not compile!
11 auto list2 = {4, 5, 6}; // list2 has type std::initializer_list<int>
```

Les énumérations typées

Les énumérations typées

- En C ++ traditionnel, les types énumérés ne sont pas sûrs pour le type
  - Les types énumérés sont traités comme entiers
  - Comparer directement deux types énumérés complètement différents !?

```
1 enum Couleur {Rouge, Vert} couleur;
2 enum Forme {Rectangle, Ellipse} forme;
3 couleur=Rouge;
4 forme=Rectangle;
5 if (forme==couleur) ....// Le compilateur ne signale rien
```

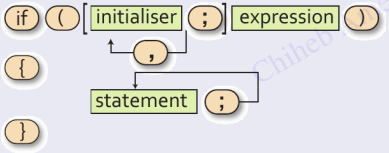
- Les énumérations typées visent à éviter ce problème

```
1 enum class Couleur {Rouge, Vert} couleur;
2 enum class Forme {Rectangle, Ellipse} forme;
3 couleur=Couleur::Rouge;
4 forme=Forme::Rectangle;
5 if (forme==couleur) ....// Erreur signalé par le compilateur
```

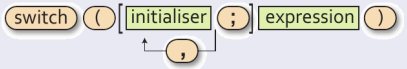

Initialisation dans les instructions `if` et `switch`

Initialisation dans les instructions `if` et `switch`

- Fonctionnalité introduite en C++17
- Permettre l'initialisation de variables directement dans les instructions `if` et `switch`
  - L'instruction `if`



  - L'instruction `switch`



Initialisation dans l'instruction `if`

```
int valeur {10};

if (int result = valeur * 2; result > 20) {
  std::cout << "Le résultat est > 20 et vaut : " << result << std::endl;
} else {
  std::cout << "Le résultat est =< à 20 et vaut :"<<result << std::endl;
}
```

Initialisation dans l'instruction `switch`

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
int main() {
  srand(time(NULL));
  switch (int i = rand() % 100; i) {
    case 42:
    std::cout << "La chance! Vous avez obtenu 42." << std::endl;
    break;
    default:
    std::cout << "Vous avez obtenu " << i << "." << std::endl;
    break;
  }
}
```

Liaison structurée

Présentation

- Fonctionnalité introduite en C++17
  - ☞ Faciliter l'accès aux éléments individuels de l'objet
- Syntaxe générale

```
auto [a, b, c, ...] = expression;
auto [a, b, c, ...] { expression };
auto [a, b, c, ...] ( expression );
```

- Appliquée aux types suivants
  1. Tableaux
  2. `std::pair<>` et `std::tuple<>`
  3. Les structures sur les membres non statiques et publiques

Liaison structurée

Liaison structurée avec les tableaux

➥ Le nombre d'identifiants doit correspondre exactement au nombre d'éléments dans le tableau.

```
1 double myArray[3] { 1.0, 2.0, 3.0 };
2 auto [a, b, c] = myArray;
3 auto [d, e, f] {myArray};
4 auto [g, h] myArray; // Erreur de compilation
```


Liaison structurée

Liaison structurée avec `std::pair<>` et `std::tuple<>`

➥ Le nombre d'identifiants doit correspondre exactement au nombre d'éléments dans les objets

```
1 // Avec std::pair
2 std::pair<int, double> maPaire = {1, 4.5};
3 auto [monEntier, monDouble] = maPaire; // Décomposition de la paire
4
5 // Avec std::tuple
6 std::tuple<int, double, std::string> monTuple = {2, 6.7, "Texte"};
7 auto [entier, dbl, texte] = monTuple; // Décomposition du tuple
```

Liaison structurée

Liaison structurée avec les structures

- Par défaut, applicable avec les structures sont tous les membres sont publiques et non statiques
- Pour les classes personnalisées, il y a la possibilité d'activer la liaison structurée
  - En redéfinissant les modèles `get<N>`, `std::tuple_size` et `std::tuple_element`
  - En utilisant, la fonction `std::tie`

```
struct S {
  int n;
  std::string st;
  float d;
};

S s;
auto [a, b, c] = s;
```


Liaison structurée

Utilisation de `std::tie`

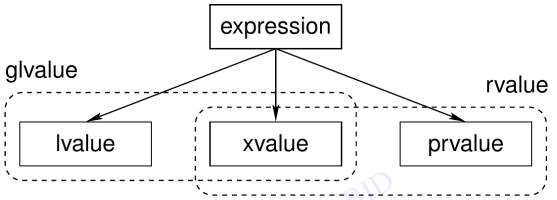
- `std::tie` crée un tuple de références à partir de ses arguments
  - Le tuple créé ne possède pas ses propres valeurs mais agit comme un alias pour les variables existantes
- Utile pour décomposer des tuples et pour l'affectation multiple

```
int tab[] {0,1,2,3,4,5};
auto [a,b] {std::tie(tab[0],tab[3])}; // a=tab[0] et b=tab[3]
std::tie(tab[0],tab[3])=std::tuple{0,0}; // tab[0]=0 et tab[3]=0

struct S {
  int n;
  std::string st;
  float d;
} o;
auto [a,b] = std::tie(o.n,o.st);
std::tie(a,b) = std::tie(o.n,o.st);
```

Plan

Catégories d'expressioms



Notion de value-ness

- Chaque expression peut être classée dans exactement l'une des trois catégories suivantes :
  - `lvalue` (left value)
  - `prvalue` (pure rvalue)
  - `xvalue` (valeur expirante)
- Une expression qui est une `lvalue` ou une `xvalue` est appelée une `glvalue` (generalized lvalue).
- Une expression qui est une `prvalue` ou une `xvalue` est appelée une `rvalue`
- Chaque expression est soit une `lvalue`, soit une `rvalue` (mais pas les deux).
- La possibilité de déplacer (au lieu de copier) une valeur dépend de son type : `lvalue` ou `rvalue`

Notion de value-ness

Lvalue

- `lvalue` (left value) est une expression qui :
  - Désigne une fonction ou un objet ; et
  - Possède une identité : elle occupe un emplacement identifiable en mémoire et, par conséquent, on peut en principe prendre son adresse

Une expression `lvalue` est tout ce qui pouvait traditionnellement être à gauche de l'opérateur d'affectation

Expressions `lvalue`

- Les objets et fonctions nommés sont des `lvalues`

```
int getValue();
int i = 0;
const int j = 1;
i = j + 1; // i et j sont des lvalues
getValue(); // getValue est une lvalue [Note : pas getValue()]
```


Notion de value-ness

Expressions `lvalue`

- Pointeur déréférencé
  - Si `e` est une expression de type pointeur, alors `*e` est une `lvalue`

```
char buffer[] = "Hello";
char* s = buffer;
*s = 'a'; // *s est une lvalue
*(s + 1) = 'b'; // *(s + 1) est une lvalue
```

- Le résultat de l'appel d'une fonction dont le type de retour est une référence lvalue est une lvalue

```
std::vector<int> v = {{1, 2, 3}};
// int& std::vector<int>::operator[](int);
int i = v[0]; // v[0] is lvalue
```

- Un littéral de chaîne est une lvalue. Exemple : `"Hello World"`
- Les références `rvalue` nommées sont des `lvalues`

```
int&& i = 1 + 3;
int j = i; // i est une lvalue
```

- Les références rvalue vers des fonctions (nommées et non-nommées) sont des lvalues.

Notion de value-ness

Expressions `prvalue`

- Une prvalue est une expression qui :
  - Est un objet temporaire ou un sous-objet d'un objet temporaire, ou une valeur qui n'est pas associée à un objet
  - N'a pas d'identité (c'est-à-dire, qu'on ne peut pas en principe prendre son adresse).
- Une `prvalue` est un type spécifique de `rvalue`
  - Tous les prvalues sont des rvalues, mais tous les rvalues ne sont pas des prvalues.
  - Le terme "rvalue" est plus général et englobe les prvalues ainsi que d'autres types d'expressions qui ne désignent pas des objets.

Expressions `prvalue`

- Les objets temporaires sont des `prvalues`

```
1 std::vector<int> v;
2 v = std::vector<int>(10, 2); // std::vector<int>(10, 2) est une prvalue
3 std::complex<double> u;
4 u = std::complex<double>(1, 2); // std::complex<double>(1, 2) est une prvalue
```

Notion de value-ness

Expressions `prvalue`

- Un appel de fonction dont le type de retour n'est pas un type de référence est une `prvalue`

```
1 int func();
2 int i = func(); // func() est une prvalue
```

- Tous les littéraux sauf les littéraux de chaîne sont des `prvalues`

```
1 double pi = 3.1415; // 3.1415 est une prvalue
2 int i = 42; // 42 est une prvalue
3 i = 2 * i + 1; // 2 et 1 sont des prvalues
4 char c = 'A'; // 'A' est une prvalue
```

- Le résultat produit par certains opérateurs intégrés (par exemple, +, -, *, /) est une `prvalue`

```
1 int i, j;
2 i = 3 + 5; // 3 + 5 est une prvalue
3 j = i * i; // i * i est une prvalue
```

- Le mot-clé `this` est une expression prvalue.

Notion de value-ness

rvalue et lvalue

- `lvalue` (left value) : référence sur une variable (dans la pile) ou un espace alloué dynamiquement (dans le tas) doté d'une adresse
  - Tout ce qui pouvait traditionnellement être à gauche de l'opérateur d'affectation
- `rvalue` (right value - prvalue depuis C++11) : les valeurs (ie. contenus) que l'on peut mettre dans une lvalue
  - Ces valeurs peuvent très bien être retournées par une fonction
  - Une valeur n'a pas d'adresse
- Il est possible de transformer une lvalue en une rvalue à l'aide de la fonction `std::move`
  - `std::move` ne déplace rien, juste elle effectue une sorte de casting (conversion)

Notion de value-ness

Les références

- Les références sont des alias d'objets ou de fonctions déjà existants
- Comme il existe deux types de valeurs (lvalue et rvalue0, alors il existe deux types de références
  1. les références lvalue, denotées par `&`, tel que `&x`, sont des références de lvalues.
  2. les références rvalue, denotées par `&&`, tel que `&&x`, sont des références de rvalues

Inférence de type

Inférence de type avec le mot clé `auto`

➥ Le mot clé `auto` permet de déduire automatiquement le type d'un objet lors de sa définition à partir du type de l'objet utilisé pour l'initialisation

```
1 auto f = fonctionRenvoyantUnType(toto);
2 auto g=1; //int g=1;
```

☞ Utile pour éviter les répétitions

```
1 LaClasse * p=new LaClasse;
2 auto c2=new LaClasse;
```

☞ Utile pour éviter d'avoir à construire un nom compliqué lié à l'usage des templates

```
1 vector<vector<int> > v;
2 // C++98 (sans auto)
3 for (vector<vector<int> >::iterator
4 i=v.begin(); i!=v.end();++i)
5 // C++11
6 for (auto i=v.begin(); i!=v.end();++i)
```


Inférence de type

Avertissement : récupérer la value-ness

➥ Le mot clé `auto` ne permet pas de récupérer la value-ness de ce qui est à droite de l'affectation !

```
1  int f1();
2  int& f2();
3  const int& f3();
4
5  auto i1 {f1()}; // i1 de type int
6  auto a2 {f2()}; // i2 de type int
7  auto a3 {f3()}; // i3 de type int
```


➥ La value-ness est déterminée de manière manuelle

```
1  int & f1();
2  const int f2();
3  int f3();
4  const int & f4();
5
6  auto & i1 {f1()}; // int &
7  const auto & i2 {f1()}; //const int &
8  auto && i3 {f2()}; // int &&
9  auto && i4 {f3()}; // int &&
10 auto && i5 {f1()}; // int &
11 auto && i6 {f4()}; // const int &
```

Inférence de type

Inférence de type avec le mot clé `decltype`

- Introduit en C++11
- Le mot clé `decltype` permet de déduire le type y compris la value-ness d'une expression sans l'évaluer
- Syntaxe

```
decltype(expression)
```



```
1  int i;
2  decltype(i) j {5}; // j est donc de type int
3  ////////////////////////////////////////////
4  int f1();
5  int& f();
6  const int& f3();
7
8  decltype (f1()) i1 {f1()}; //type int
9  decltype (f2()) i2 {f2()}; //type int&
10 decltype (f3()) i3 {f3()}; //type const int&
```

Plan

Les attributs

Présentation

- Une fonctionnalité introduite avec C+11 pour fournir des informations supplémentaires au compilateur
  - Optimisation du code
  - Génération du code spécifique
- Les attributs ont été introduits pour remplacer les extensions spécifiques aux compilateurs comme `__attribute__` de GCC ou `__declspec` de MSVC depuis C++11
- Syntaxe

```
[[attribute]]
```


Les attributs

Evolution

1. C++11
   - Introduction des attributs

```
1 [[noreturn]]
2 [[carries_dependency]]
```

2. C++14
   - Introduction de l'attribut `[[deprecated]]` pour marquer une entité obsolète
3. C++17
   - Ajout des attributs

```
1 [[fallthrough]]
2 [[nodiscard]]
3 [[maybe_unused]]
```

   - Ignorer les attributs inconnus

Les attributs

Attributs de C++11

- L'attribut `[[noreturn]]`
  - Une fonction ne retourne jamais comme `exit()`
  - Comportement indéfini si la fonction retourne

```
[[noreturn]] void terminerProgramme() {
  std::cout << "Le programme va se terminer." << std::endl;
  std::exit(1); // Termine le programme avec le code de sortie 1
}
```

- L'attribut `[[carries_dependency]]`
  - Indiquer qu'une dépendance de données est portée à travers les appels de fonction dans le contexte multithreadé

Les attributs

Attributs de C++14

- L'attribut `[[deprecated]]`
  - Indiquer une entité obsolète
  - Peut être accompagné d'un message


```
void h( int& x );

[[deprecated]] int f();
[[deprecated("La fonction g() est depreeiee. Utilisez plutôt la fonction h()")]] void
      g( int& x );
```

Les attributs

Attributs de C++17

- L'attribut `[[maybe_unused]]`
  - Supprimer les avertissements concernant les éléments inutilisés : variables, paramètres et fonctions


```cpp
[[maybe_unused]] void fonctionInutilisee() {
  // Code qui pourrait ne pas être appelé
}

int main() {
  [[maybe_unused]] int valeurInutilisee {42};
  auto fonctionAvecParametreInutilise = []( [[maybe_unused]] int parametre ) {
    std::cout << "Cette fonction pourrait ne pas utiliser son paramètre." << std::endl
        ;
  };
  fonctionAvecParametreInutilise(10);
  return 0;
}
```

Les attributs

Attributs de C++17

- L'attribut `[[nodiscard]]`
  - Ne pas ignorer la valeur de retour : si la valeur de retour est ignorée, le compilateur génère un avertissement


```cpp
[[nodiscard]] int calculerSomme(int a, int b) {
  return a + b;
}

int main() {
  calculerSomme(3, 4); // Ceci va générer un avertissement

  int somme = calculerSomme(3, 4); // Pour éviter l'avertissement, il faut utiliser
      la valeur de retour.
  std::cout << "La somme est : " << somme << std::endl;

  return 0;
}
```

Les attributs

Attributs de C++17

- L'attribut `[[fallthrough]]`
  - Utilisé dans les instructions `switch` pour indiquer explicitement qu'un case est conçu pour tomber dans le case suivant sans interruption.


```cpp
int main() {
  int jour {3};
  switch (jour) {
    case 1: std::cout << "Lundi"; break;
    case 2: std::cout << "Mardi"; break;
    case 3:
      std::cout << "Mercredi";
      [[fallthrough]]; // Indique intentionnellement qu'il n'y a pas de 'break'
    case 4:
      std::cout << " et jeudi aussi!";
    break;
    default:
      std::cout << "Un autre jour";
    break;
  }
  return 0;
}
```

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Questions ?