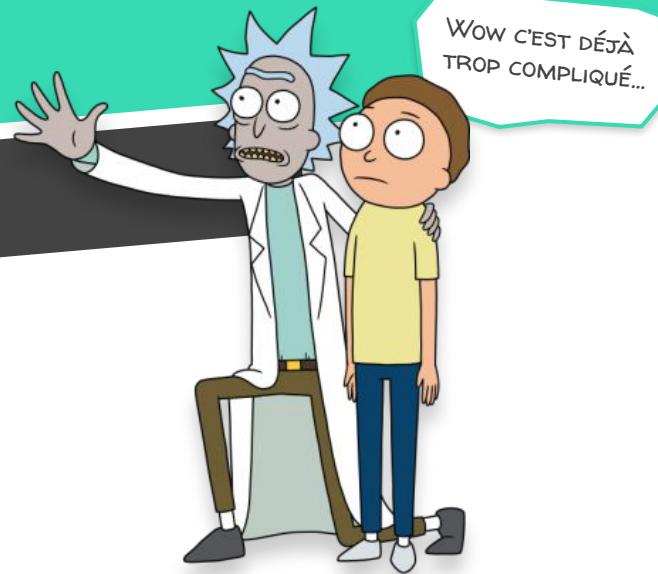


Cours de C++

Segment 1

2025-2026

ADMIRE, JEUNE APPRENTI !



1. Présentation du module
2. Hello World!
3. Types
4. Fonctions libres
5. Classes
6. Gestion de la mémoire

1. Présentation du module.

- a. Intervenants
- b. Déroulement du module
- c. Outils & ressources

2. Hello, World!

3. Types.

4. Fonctions libres.

5. Classes.

6. Gestion de la mémoire

Les enseignants de C++ sont:

- **Henri Derycke** (TP Apprentis GR3) — henri.derycke@univ-eiffel.fr
- **Anthony Labarre** (TP Initiaux GR1) — anthony.labarre@univ-eiffel.fr
- **Victor Marsault** (CM & TP Initiaux GR2) — victor.marsault@univ-eiffel.fr

Vous pouvez nous contacter par mail mais aussi sur **Discord**.

- Les supports du cours ont principalement été écrit par **Céline Noël**

Séance supervisées:

- **3** cours magistraux pour présenter les segments
- **11** séances de TPs

Travail en autonomie:

- **9** chapitres sur le [site web du cours](#) :
 - Questionnaire à la fin de chaque chapitre pour vérifier que vous avez compris
 - Possibilité de l'envoyer à votre encadrant de TP qui vous fera un retour
- **1** TP de révision à réaliser en autonomie
- **2 à 3 heures** par semaine

Contrôle continu:

- TP noté de 2h à $\frac{1}{3}$ du semestre (**coef 2**)
- TP noté de 2h à $\frac{2}{3}$ du semestre (**coef 2**)
- TP noté final de 3h (**coef 3**)

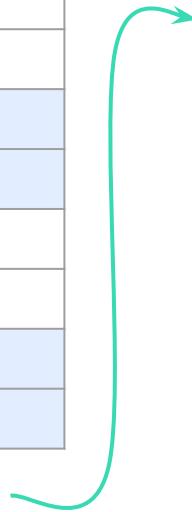
Rattrapage: TP noté de 3h qui remplace **la plus faible** des trois notes !

Modalités:

- Utilisation du mode exam donc **pas d'accès à internet**
- Accès au site du cours et à la documentation du standard C++
- Tests automatiques

Déroulement du module

S1	CM
	Chapitre à lire
	TP
S2	Chapitre à lire
	TP
S3	Chapitre à lire
	TP
S4	TP de révision
	TP Noté



S5	CM
S6	Chapitre à lire
	TP
S7	Chapitre à lire
	TP
S8	Chapitre à lire
	TP
S9	TP de révision
	TP Noté



S10	CM
S11	Chapitre à lire
	TP
S12	Chapitre à lire
	TP
S13	Chapitre à lire
	TP
S14	Révisions
S15	TP Noté final

— En autonomie

Ressources du cours:

- [Site web du cours](#) avec des exercices d'entraînement
- [Miroir local de la documentation du standard C++](#)
- [Dépôt git des Tps](#)

Pour tester des snippets de code :

→ [Compiler Explorer](#) sur godbolt

Pour développer des projets :

- ~~Visual Studio Code~~ [Visual Studio Codium](#)
- [CMake](#)
- [Git](#)

Ressources du cours:

- [Site web du cours](#) avec des exercices d'entraînement
- [Miroir local de la documentation du standard C++](#)
- [Dépôt git des Tps](#)

Pour tester des snippets de code :

→ [Compiler Explorer](#) sur godbolt

Pour développer des projets :

- ~~Visual Studio Code~~ [Visual Studio Codium](#)
- [CMake](#)
- [Git](#)



Certaines parties du site et des TP pourraient ne pas être à jour

Quelques avertissements

- Les notes ne sont pas entièrement compensables
 - Le TP noté de rattrapage ne remplace qu'une seule note
- Le système de test automatique est assez punitifs
 - Un test ne passe pas ne vaut généralement pas de points
- La difficulté augmente avec le temps
 - Le TPN1 est plus facile
- La référence du cours est le site web et pas le CM
 - Si vous ne lisez pas les chapitres, il vous manquera des notions

Quelques avertissements

- Les notes ne sont pas entièrement compensables
 - Le TP noté de rattrapage ne remplace qu'une seule note
- Le système de test automatique est assez punitifs
 - Un test ne passe pas ne vaut généralement pas de points
- La difficulté augmente avec le temps
 - Le TPN1 est plus facile
- La référence du cours est le site web et pas le CM
 - Si vous ne lisez pas les chapitres, il vous manquera des notions



Travaillez tout au long du semestre



🤔 des questions sur le déroulement du module ?

1. Présentation du module

2. Hello, World!

- a. Le C++, c'est quoi?
- b. Fonction `main`
- c. Afficher du texte dans la console
- d. Compiler avec ou sans `CMakeLists.txt`
- e. Lire du texte depuis la console
- f. Utiliser les arguments du programme

3. Types

4. Fonctions libres

5. Classes

6. Gestion de la mémoire

Le C++ est un langage de programmation...

- **Compilé**
→ Donc **rapide** à l'exécution.
- **Orienté-objet**
→ Donc on peut architecturer des **gros projets** sans avoir trop envie de mourir.
- **Générique**
→ Donc on peut facilement limiter le copier-coller d'algorithmes pour supporter **différents types**.
- **Bien documenté**
→ **Standard** actif et grande base d'utilisateurs !

Le C++ est un langage de programmation...

- **Compilé**
→ Donc **rapide** à l'exécution.
- **Orienté-objet**
→ Donc on peut architecturer des **gros projets** sans avoir trop envie de mourir.
- **Générique**
→ Donc on peut facilement limiter le copier-coller d'algorithmes pour supporter **différents types**.
- **Bien documenté**
→ **Standard** actif et grande base d'utilisateurs !
- **Quasi-rétro-compatible avec le C**
→ Coexistence de types C et C++
→ La syntaxe pour les concepts modernes **pique un peu les yeux** au début



Fonction main

Identifiant — main

Arguments — () ou (int argc, char** argv)

Type de retour — int

```
int main()
{
    return 0;
}
```

Afficher du texte dans la console

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Hello World!" << std::endl;
    return 0;
}
```

Afficher du texte dans la console

```
#include <iostream>

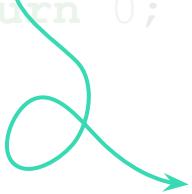
int main()
{
    std::cout << "Hello World!" << std::endl;
    return 0;
}
```

Donne accès aux **symboles** déclarés dans la section I/O (Input/Output, i.e. Entrées/Sorties) de la **librairie standard**.

Afficher du texte dans la console

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Hello World!" << std::endl;
    return 0;
}
```



Cible les **symboles** du
namespace std (librairie
standard)

Afficher du texte dans la console

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Hello World!" << std::endl;
    return 0;
}
```

Sortie standard.

Saut de ligne + flush.

Pour compiler, depuis un terminal :

```
g++ -std=c++17 hello-world.cpp -o hello-world
```

Puis, pour exécuter :

```
./hello-world
```

Compiler en ligne de commande

Nom de la source

Pour compiler, depuis un terminal :

```
g++ -std=c++17 hello-world.cpp -o hello-world
```

Nom de l'exécutable

Puis, pour exécuter :

```
./hello-world
```

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.17)
project(cours-1)

add_executable(hello-world
    hello-world.cpp
)

target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)
target_compile_options(hello-world PRIVATE
    -Wall
    -Wextra
    -Werror
)
```

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)
```



```
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```

Légende

Permet de générer un **exécutable**.

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)
```



Légende

```
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```

Nom de l'exécutable.

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)
```

Légende

```
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp ←  
)
```

Liste des **sources**.

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)  
  
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```



```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```

Légende

Permet de sélectionner un set de **fonctionnalités** pour le langage.

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)
```

Légende

C++ 17

```
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```



Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)  
  
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```

Légende

Permet de passer des **options** au **compilateur** lors de la phase de **compilation**.

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)
```

Légende

```
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```

Active un premier set de **warnings**.

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```

Ajouter un CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION  
project(cours-1)
```

Légende

```
add_executable(hello-world  
    hello-world.cpp  
)
```

Active un second set de **warnings**.

```
target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)  
target_compile_options(hello-world PRIVATE  
    -Wall  
    -Wextra  
    -Werror  
)
```



Ajouter un CMakeLists.txt

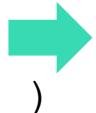
```
cmake_minimum_required(VERSION 3.10)
project(cours-1)

add_executable(hello-world
    hello-world.cpp
)

target_compile_features(hello-world PRIVATE cxx_std_17)
target_compile_options(hello-world PRIVATE
    -Wall
    -Wextra
    -Werror
)
```

Légende

Considère les **warnings** comme des **erreurs**.



Lire du texte depuis la console

```
#include <iostream>
#include <string>

int main()
{
    std::cout << "What's your name? " << std::endl;

    auto name = std::string {};
    std::cin >> name;

    std::cout << "Hello " << name << std::endl;
    return 0;
}
```

```
#include <iostream>
#include <string>

int main()
{
    std::cout << "What's your name? " << std::endl;

    auto name = std::string { };
    std::cin >> name;

    std::cout << "Hello " << name << std::endl;
    return 0;
}
```

Construit une **instance**
de type `std::string`



Lire du texte depuis la console

```
#include <iostream>
#include <string>

int main()
{
    std::cout << "What's your name? " << std::endl;
    auto name = std::string {};
    std::cin >> name;

    std::cout << "Hello " << name << std::endl;
    return 0;
}
```

Type **déduit** de ce qu'il y a à droite du symbole =

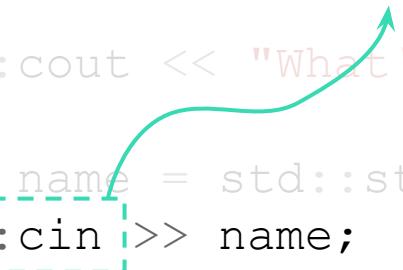


```
#include <iostream>
#include <string>

int main()
{
    std::cout << "What's your name? " << std::endl;
    auto name = std::string {};
    std::cin >> name;

    std::cout << "Hello " << name << std::endl;
    return 0;
}
```

Entrée standard.



```
#include <iostream>
#include <string>

int main()
{
    std::cout << "What's your name? " << std::endl;

    auto name = std::string {};
    std::cin >> name;

    std::cout << "Hello " << name << std::endl;
    return 0;
}
```



Des questions?

Utiliser les arguments du programme

```
#include <iostream>

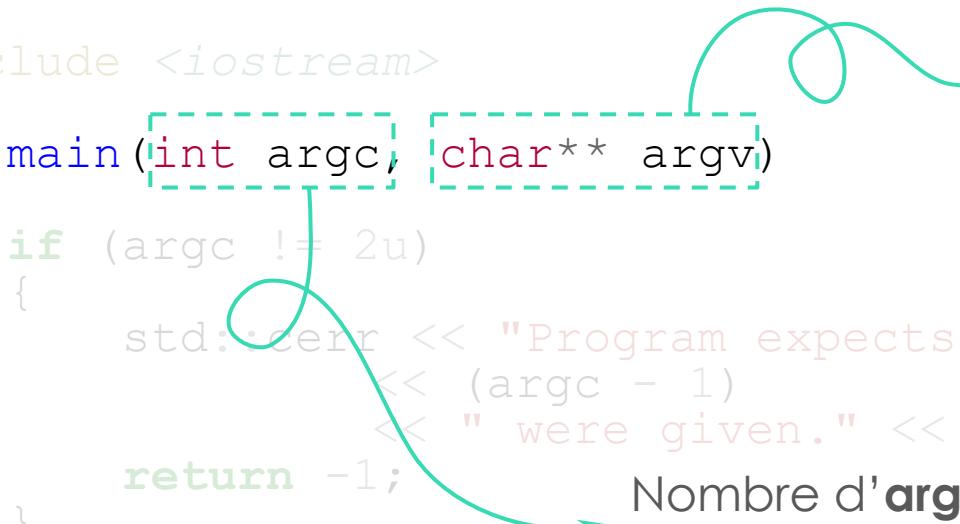
int main(int argc, char** argv)
{
    if (argc != 2u)
    {
        std::cerr << "Program expects one argument: "
                << (argc - 1)
                << " were given." << std::endl;
        return -1;
    }

    std::cout << "Hello " << argv[1] << std::endl;
    return 0;
}
```

Utiliser les arguments du programme

```
#include <iostream>

int main(int argc, char** argv)
{
    if (argc != 2u)
    {
        std::cerr << "Program expects one argument: "
             << (argc - 1)
             << " were given." << std::endl;
        return -1;
    }
    std::cout << "Hello " << argv[1] << std::endl;
    return 0;
}
```



**Chemin de l'exécutable,
puis arguments.**

**Nombre d'arguments
(+ 1 pour le chemin de l'exécutable)**

Utiliser les arguments du programme

```
#include <iostream>          Sortie d'erreurs.  
  
int main(int argc, char** argv)  
{  
    if (argc != 2u)  
    {  
        std::cerr << "Program expects one argument: "  
             << (argc - 1)  
             << " were given." << std::endl;  
        return -1;  
    }  
  
    std::cout << "Hello " << argv[1] << std::endl;  
    return 0;  
}
```



```
#include <iostream>

int main(int argc, char** argv)
{
    if (argc != 2u)
    {
        std::cerr << "Program expects one argument: "
                << (argc - 1)
                << " were given." << std::endl;
        return -1;
    }

    std::cout << "Hello " << argv[1] << std::endl;
    return 0;
}
```

🤔 Des questions?

1. Présentation du module.
2. Hello, World!
- 3. Types.**
 - a. Types fondamentaux.
 - b. Définition de variables avec `auto`.
 - c. Chaînes de caractères.
 - d. Tableaux dynamiques.
 - e. Références.
 - f. Variables et références constantes.
4. Fonctions libres.
5. Classes.
6. Cycle de vie et Ownership

Types fondamentaux

Les types hérités du C :

- Types **entiers** : int, short, long, unsigned int, ...
- Types **flottants** : float, double.
- Types **character** : char, unsigned char.

Mais aussi :

- Type **booléen** : bool.
- Types **entiers de taille fixe** : int8_t, uint32_t, ...
- Type **taille** : size_t.

Définition de variables avec `auto`

```
auto int_value = 3;
auto unsigned_value = 3u;
auto float_value = 3.f;
auto double_value = 3.0;
auto size_value = size_t { 3 };
auto return_value = fcn();
auto mavar = MaClasse{};
```

Avantages :

- Variables de types **fondamentaux** sont nécessairement **initialisées**.

```
int a; // Ici la valeur de a est n'importe quoi
```

- **Pas de duplication** dans le code (**refactoring** plus rapide)

```
MaClasse a = mafonction();
```

- Meilleure **lisibilité** quand les types sont complexes (templates)

Inconvénient :

- Si on n'a pas d'**IDE**, il est nécessaire de **fouiller un peu** et d'aller chercher le **type de retour** des fonctions pour connaître celui des variables.

Chaînes de caractères

```
#include <string>

int main()
{
    auto empty_str = std::string { "" };

    auto pouet = std::string { "pouet" };
    auto size = pouet.length();
    auto c0 = pouet.front();
    auto c3 = pouet[3];

    auto big_pouet = std::string {};
    for (auto c: pouet)
    {
        big_pouet += std::toupper(c);
    }

    auto half_pouet = pouet.substr(0, pouet.length() / 2);

    return 0;
}
```

```
#include <string>

int main()
{
    auto empty_str = std::string { "" };
    auto pouet = std::string { "pouet" };
    auto size = pouet.length();
    auto c0 = pouet.front();
    auto c3 = pouet[3];

    auto big_pouet = std::string {};
    for (auto c: pouet)
    {
        big_pouet += std::toupper(c);
    }

    auto half_pouet = pouet.substr(0, pouet.length() / 2);

    return 0;
}
```



Chaine de caractère C : char*

```
#include <string>

int main()
{
    auto empty_str = std::string{ "" };
    auto pouet = std::string { "pouet" };
    auto size = pouet.length();
    auto c0 = pouet.front();
    auto c3 = pouet[3];

    auto big_pouet = std::string {};
    for (auto c: pouet)
    {
        big_pouet += std::toupper(c);
    }

    auto half_pouet = pouet.substr(0, pouet.length() / 2);

    return 0;
}
```



Chaine de caractère C++:
std::string

```
#include <string>

int main()
{
    auto empty_str = std::string { "" };

    auto pouet = std::string { "pouet" };
    auto size = pouet.length();
    auto c0 = pouet.front();
    auto c3 = pouet[3];

    auto big_pouet = std::string {};
    for (auto c: pouet)
    {
        big_pouet += std::toupper(c);
    }

    auto half_pouet = pouet.substr(0, pouet.length() / 2);

    return 0;
}
```

Les std::string sont des objets

```
#include <string>

int main()
{
    auto empty_str = std::string { "" };

    auto pouet = std::string { "pouet" };
    auto size = pouet.length();
    auto c0 = pouet.front();
    auto c3 = pouet[3];

    auto big_pouet = std::string {};
    for (auto c: pouet)
    {
        big_pouet += std::toupper(c);
    }

    auto half_pouet = pouet.substr(0, pouet.length() / 2);

    return 0;
}
```

🤔 Des questions?

Tableaux dynamiques

```
#include <vector>

int main()
{
    auto v1 = std::vector<int> {0,1,2};

    v1.emplace_back(4);
    v1.emplace_back(5);

    auto size = v1.size();
    for (unsigned i = 0; i<size; ++i)
    {
        std::cout << v1[i]
    }

    auto sum = 0;
    for (auto e: v1)
    {
        sum += e;
    }

    return 0;
}
```

Tableaux dynamiques

```
#include <vector>

int main()
{
    auto v1 = std::vector<int> {0,1,2}; 
    v1.emplace_back(4);
    v1.emplace_back(5);

    auto size = v1.size();
    for (unsigned i = 0; i < size; ++i)
    {
        std::cout << v1[i]
    }

    auto sum = 0;
    for (auto e: v1)
    {
        sum += e;
    }

    return 0;
}
```

On crée un vecteur avec 3 éléments

Tableaux dynamiques

```
#include <vector>

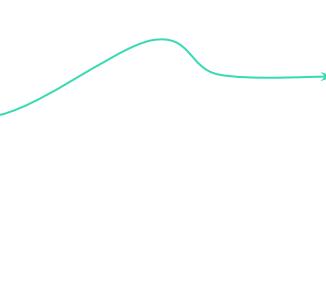
int main()
{
    auto v1 = std::vector<int> {0,1,2};

    v1.emplace_back(4);
    v1.emplace_back(5);

    auto size = v1.size();
    for (unsigned i = 0; i < size; ++i)
    {
        std::cout << v1[i]
    }

    auto sum = 0;
    for (auto e: v1)
    {
        sum += e;
    }

    return 0;
}
```



On ajoute 2 éléments en plus à la fin du tableau v1



L'emplacement mémoire de v1 peut avoir changé

Tableaux dynamiques

```
#include <vector>

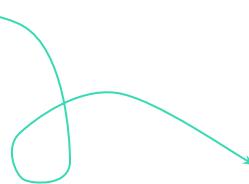
int main()
{
    auto v1 = std::vector<int> {0,1,2};

    v1.emplace_back(4);
    v1.emplace_back(5);

    auto size = v1.size();
    for (unsigned i = 0; i < size; ++i)
    {
        std::cout << v1[i]
    }

    auto sum = 0;
    for (auto e: v1)
    {
        sum += e;
    }

    return 0;
}
```



On parcourt `v1` “à la main” et on affiche ses éléments

Tableaux dynamiques

```
#include <vector>

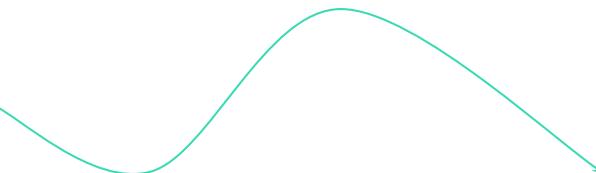
int main()
{
    auto v1 = std::vector<int> {0,1,2};

    v1.emplace_back(4);
    v1.emplace_back(5);

    auto size = v1.size();
    for (unsigned i = 0; i<size; ++i)
    {
        std::cout << v1[i]
    }

    
        auto sum = 0;
        for (auto e: v1)
        {
            sum += e;
        }
    

    return 0;
}
```



On parcourt `v1` avec un “for each” et on calcule la somme de ses éléments

```
#include <vector>

int main()
{
    auto v1 = std::vector<int> {0,1,2};

    v1.emplace_back(4);
    v1.emplace_back(5);

    auto size = v1.size();
    for (unsigned i = 0; i < size; ++i)
    {
        std::cout << v1[i]
    }

    auto sum = 0;
    for (auto e: v1)
    {
        sum += e;
    }

    return 0;
}
```

🤔 Des questions?

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main()
{
    auto a = 1;
    std::cout << a << std::endl; // 1

    auto& b = a;
    b = 3;
    std::cout << a << std::endl; // 3

    auto vec = std::vector { 1, 2, 3 };
    auto& last = vec.back();
    last = 5;
    std::cout << vec[2] << std::endl; // 5

    return 0;
}
```

Une **référence** est un *alias* d'une variable, elle partage donc le **même espace mémoire** qu'elle.

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main()
{
    auto a = 1;
    std::cout << a << std::endl; // 1
    auto& b = a;
    b = 3;
    std::cout << a << std::endl; // 3

    auto vec = std::vector { 1, 2, 3 };
    auto& last = vec.back();
    last = 5;
    std::cout << vec[2] << std::endl; // 5

    return 0;
}
```

Une **référence** est un alias d'une variable, elle partage donc le **même espace mémoire** qu'elle.

Pour définir une **référence**, on place une **esperluette** (**&**) après le type.

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main()
{
    auto a = 1;
    std::cout << a << std::endl; // 1

    auto& b = a;
    b = 3; ←
    std::cout << a << std::endl; // 3 ←

    auto vec = std::vector { 1, 2, 3 };
    auto& last = vec.back();
    last = 5;
    std::cout << vec[2] << std::endl; // 5

    return 0;
}
```

Une **référence** est un *alias* d'une variable, elle partage donc le **même espace mémoire** qu'elle.

Quand on modifie l'une l'autre est modifiée.

```
#include <iostream>
#include <vector>

int main()
{
    auto a = 1;
    std::cout << a << std::endl; // 1

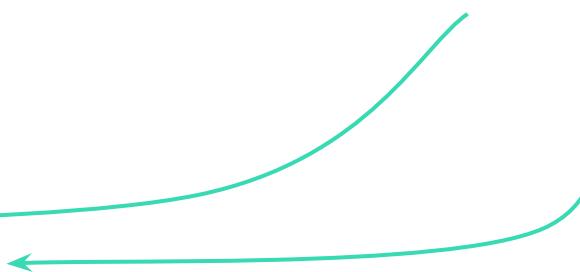
    auto& b = a;
    b = 3;
    std::cout << a << std::endl; // 3

    auto vec = std::vector { 1, 2, 3 };
    auto& last = vec.back();
    last = 5; ←
    std::cout << vec[2] << std::endl; // 5 ←

    return 0;
}
```

Une **référence** est un *alias* d'une variable, elle partage donc le **même espace mémoire** qu'elle.

Quand on modifie l'une l'autre est modifiée.



```
#include <iostream>
#include <vector>

int main()
{
    auto a = 1;
    std::cout << a << std::endl; // 1

    auto& b = a;
    b = 3;
    std::cout << a << std::endl; // 3

    auto vec = std::vector { 1, 2, 3 };
    auto& last = vec.back();
    last = 5;
    std::cout << vec[2] << std::endl; // 5

    return 0;
}
```

Une **référence** est un alias d'une variable, elle partage donc le **même espace mémoire** qu'elle.



Des questions?

Références constantes

```

int main()
{
    const auto const_var = 1;
    const_var = 3; // invalide

    auto mutable_var = 1;
    → const auto& const_ref = mutable_var;
    const_ref = 3; // invalide

    return 0;
}
  
```

Pour définir une variable ou une référence **constante**, on place **const** sur le type.

Avantages :

- Facilite le *debug* (si c'est constant, c'est que ça ne changera pas)
- Facilite la **compréhension** du code.

Inconvénient :

- Verbeux, donc il faut s'habituer à la lecture.

Référence pendante (dangling reference)

```
int main()
{
    auto v1 = std::vector<std::string> {"Hello", "World"};
    auto& ref = v1[1];

    v1[1] = "Universe";
    std::cout << ref << std::endl; // Universe

    v1.emplace_back("My");
    v1.emplace_back("Name");
    v1.emplace_back("is");
    v1.emplace_back("World");

    std::cout << ref << std::endl; // ???
}
```

Référence pendante (dangling reference)

```

int main()
{
    auto v1 = std::vector<std::string> {"Hello", "World"};
    auto& ref = v1[1];
    v1[1] = "Universe";
    std::cout << ref << std::endl; // Universe

    v1.emplace_back("My");
    v1.emplace_back("Name");
    v1.emplace_back("is");
    v1.emplace_back("World");

    std::cout << ref << std::endl; // ???
}
  
```

ref est un alias vers la case 1 de v

Référence pendante (dangling reference)

```

int main()
{
    auto v1 = std::vector<std::string> {"Hello", "World"};
    auto& ref = v1[1];

    v1[1] = "Universe";
    std::cout << ref << std::endl; // Universe

    v1.emplace_back("My");
    v1.emplace_back("Name");
    v1.emplace_back("is");
    v1.emplace_back("World");

    std::cout << ref << std::endl; // ???
}
  
```

On modifie la case référencée,
et on l'affiche



Aucun problème : c'est bien la
nouvelle valeur qui s'affiche

Référence pendante (dangling reference)

```

int main()
{
    auto v1 = std::vector<std::string> {"Hello", "World"};
    auto& ref = v1[1];

    v1[1] = "Universe";
    std::cout << ref << std::endl; // Universe

    v1.emplace_back("My");
    v1.emplace_back("Name");
    v1.emplace_back("is");
    v1.emplace_back("World");

    std::cout << ref << std::endl; // ???
}
  
```

On ajoute des éléments à `v1`.
 Il a peut-être été déplacé.

Question: vers quoi pointe `ref`?

Référence pendante (dangling reference)

```
int main()
{
    auto v1 = std::vector<std::string> {"Hello", "World"};
    auto& ref = v1[1];

    v1[1] = "Universe";
    std::cout << ref << std::endl; // Universe

    v1.emplace_back("My");
    v1.emplace_back("Name");
    v1.emplace_back("is");
    v1.emplace_back("World");

    std::cout << ref << std::endl; // ???
}
```



Des questions?

Sommaire

1. Présentation du module.

2. Hello, World!

3. Types.

4. Fonctions libres

- a. Définir une fonction.
- b. Surcharger une fonction.
- c. Passage de paramètres.

5. Classes.

6. Gestion de la mémoire

Définir une fonction

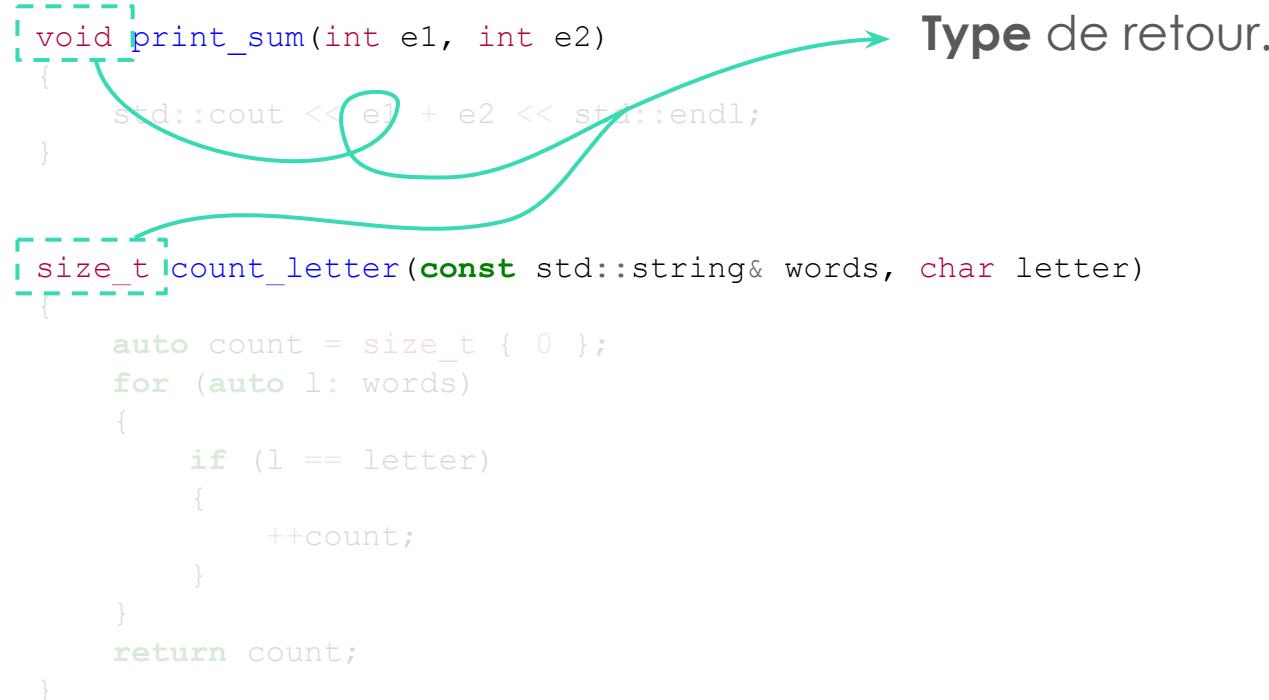
```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}

size_t count_letter(const std::string& words, char letter)
{
    auto count = size_t { 0 };
    for (auto l: words)
    {
        if (l == letter)
        {
            ++count;
        }
    }
    return count;
}
```

Définir une fonction

```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}

size_t count_letter(const std::string& words, char letter)
{
    auto count = size_t { 0 };
    for (auto l: words)
    {
        if (l == letter)
        {
            ++count;
        }
    }
    return count;
}
```



The diagram consists of two dashed green boxes containing C++ code. A red arrow points from the first box to the word 'void' in the second line of the code. Another red arrow points from the second box to the type 'size_t' in the first line of the code.

Type de retour.

```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}

size_t count_letter(const std::string& words, char letter)
{
    auto count = size_t { 0 };
    for (auto l: words)
    {
        if (l == letter)
        {
            ++count;
        }
    }
    return count;
}
```

Identifiant de la fonction.

```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}

size_t count_letter(const std::string& words, char letter)
{
    auto count = size_t { 0 };
    for (auto l: words)
    {
        if (l == letter)
        {
            ++count;
        }
    }
    return count;
}
```

Paramètres de la fonction.

Définir une fonction

```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}
```

Passage de paramètre par
référence **constante**

```
size_t count_letter(const std::string& words, char letter)
{
    auto count = size_t { 0 };
    for (auto l: words)
    {
        if (l == letter)
        {
            ++count;
        }
    }
    return count;
}
```

Passage de paramètre par copie

Définir une fonction

```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}
```

```
size_t count_letter(const std::string& words, char letter)
{
    auto count = size_t { 0 };
    for (auto l: words)
    {
        if (l == letter)
        {
            ++count;
        }
    }
    return count;
}
```

Corps de la fonction.

Vocabulaire :

- **Signature** — Identifiant + Types des paramètres.
- **Surcharge** (ou overloading) — Définir une fonction avec le **même identifiant** qu'une autre, mais une **signature différente**.
- **Prototype** — Signature + type de retour

La surcharge est possible si au moins l'une de ces conditions est vérifiée :

- Le **nombre de paramètres** est différent.
- La **succession des types** de paramètres est différente.

Surcharger une fonction

Vocabulaire :

- **Signature** — Identifiant + Types des paramètres.
- **Surcharge** (ou overloading) — Définir une fonction avec le **même identifiant** qu'une autre, mais une **signature différente**.
- **Prototype** — Signature + type de retour

La surcharge est possible si au moins l'une de ces conditions est vérifiée :

- Le **nombre de paramètres** est différent.
- La **succession des types** de paramètres est différente.



Des questions?

Surcharger une fonction

```
void print_sum(int e1, int e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}

void print_sum(int e1, int e2, int e3)
{
    std::cout << e1 + e2 + e3 << std::endl;
}

void print_sum(const std::string& e1, const std::string& e2)
{
    std::cout << e1 + e2 << std::endl;
}
```

Passage de paramètres

Passage par **valeur** (ou par **copie**)

→ L'argument est **copié** au moment de l'appel.

```
int sum(int v1, int v2)
{
    v1 += v2;
    return v1;
}

int main()
{
    auto v1 = 3;
    auto v2 = 5;
    std::cout << sum(v1, v2) << std::endl; // 8
    std::cout << v1 << std::endl;           // 3

    return 0;
}
```

Cet appel **ne modifie pas** le
v1 dans main

Passage par **référence**.

→ On crée un **alias** sur l'argument au moment de l'appel.

```
int add(int& res, int v)
{
    res += v;
    return res;
}

int main()
{
    auto v1 = 3;
    auto v2 = 5;
    std::cout << add(v1, v2) << std::endl; // 8
    std::cout << v1 << std::endl;           // 8

    return 0;
}
```

Cet appel modifie v1

Passage de paramètres

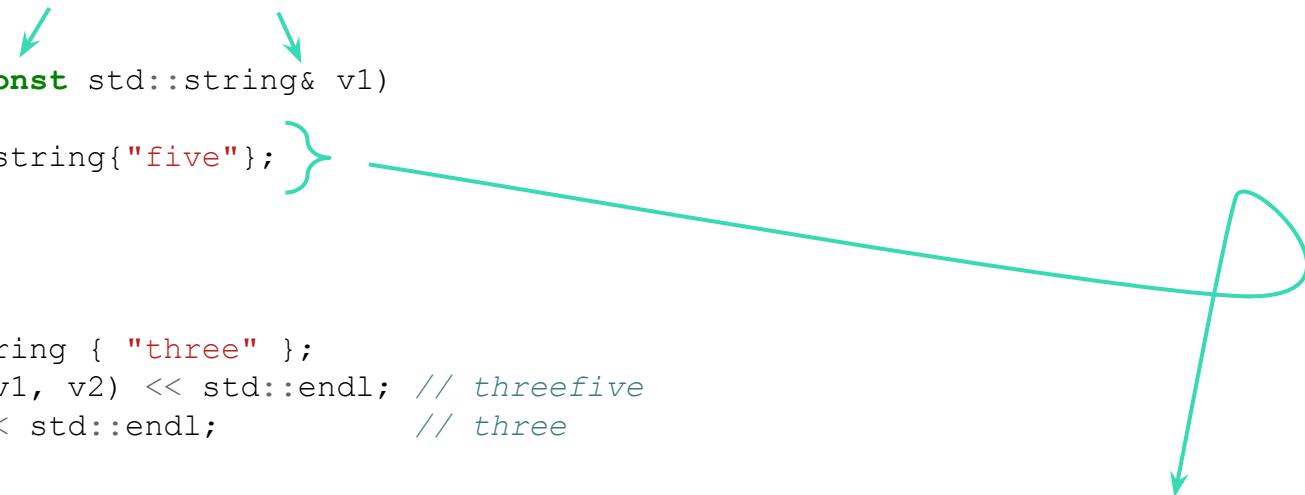
Passage par **référence constante**.

→ On crée un **alias non-mutable** sur l'argument au moment de l'appel.

```
std::string append5(const std::string& v1)
{
    return v1 + std::string{"five"};
}

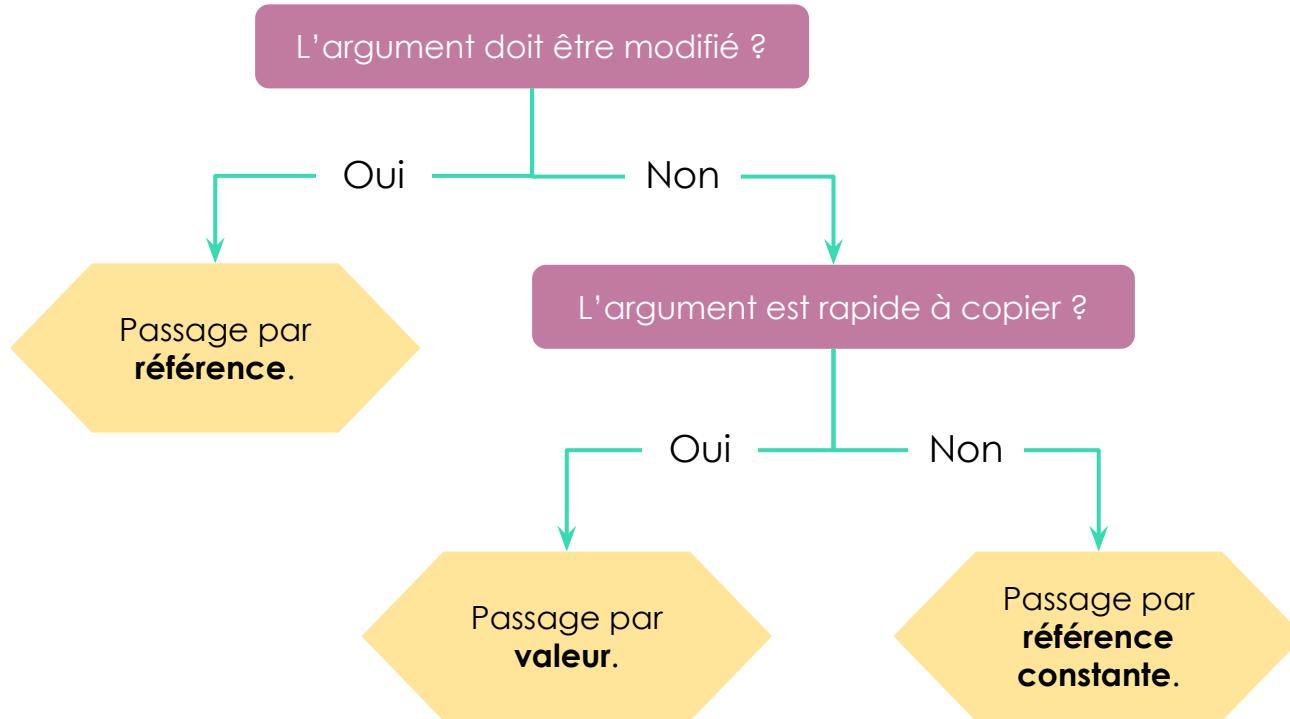
int main()
{
    auto v1 = std::string{ "three" };
    std::cout << sum(v1, v2) << std::endl; // threefive
    std::cout << v1 << std::endl;           // three

    return 0;
}
```

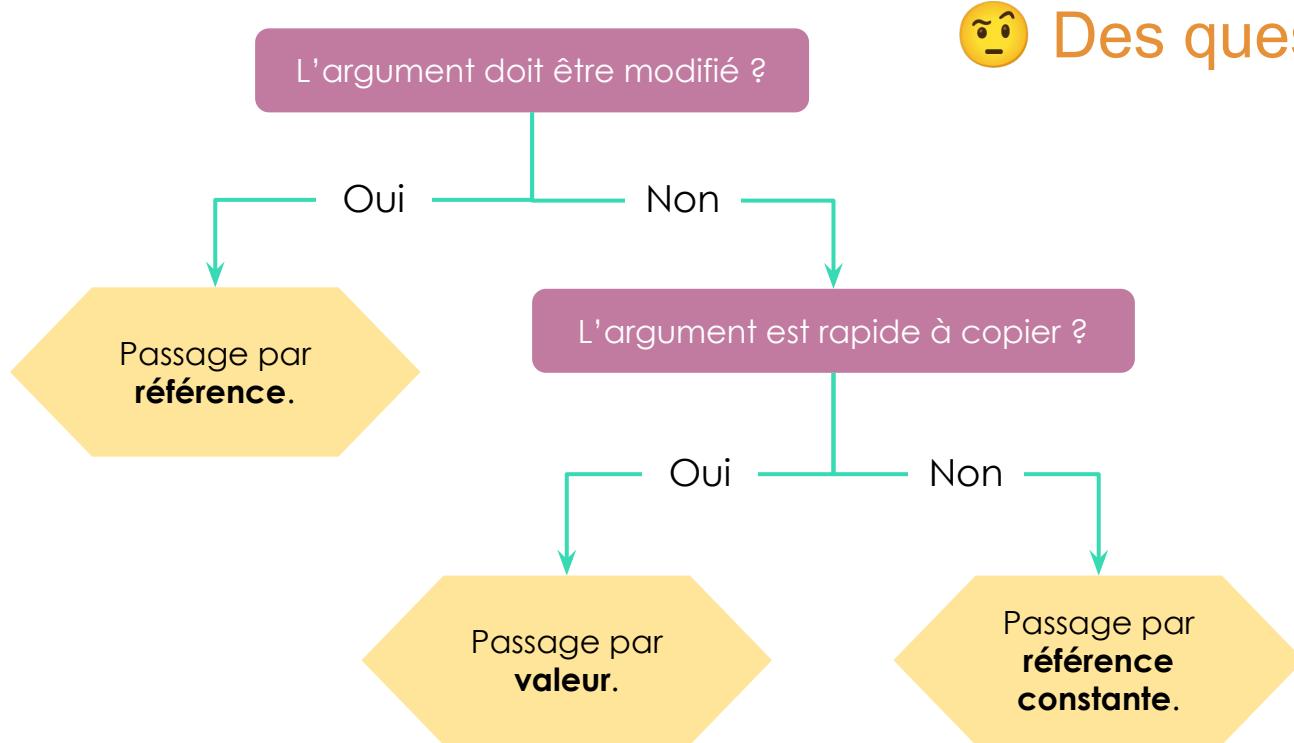


Dans le corps de `append5`, tout ce qui modifie `v1` est interdit !

Passage de paramètres



Passage de paramètres



Des questions?

Sommaire

1. Présentation du module.
2. Hello, World!
3. Types.
4. Fonctions libres.
- 5. Classes.**
 - a. Définir une classe.
 - b. Définir une fonction-membre.
 - c. Définir un constructeur.
 - d. Implémentation par défaut du constructeur par défaut.
 - e. Définir un opérateur de flux ami.
6. Gestion de la mémoire

Définir une classe

```
#include <string>

class Student
{
public:
    std::string    name;
    int           age = 0;
};

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.name = "David";
    student.age = 22;

    return 0;
}
```

```
#include <string>
class Student
{
public:
    std::string name;
    int age = 0;
};

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.name = "David";
    student.age = 22;

    return 0;
}
```

Nom de la classe.

Attributs de la classe.

Le constructeur par défaut est appelé

Attention aux oubliés !

```
#include <string>

class Student
{
public:
    std::string name;
    int age = 0;
};

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.name = "David";
    student.age = 22;

    return 0;
}
```

Oubli du modificateur **public**

error: '<attribute>' is private within this context

Attention aux oubliés !

```
#include <string>

class Student
{
public:
    std::string      name;
    int              age = 0;
};

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.name = "David";
    student.age = 22;

    return 0;
}
```

Oubli du **point-virgule** ;)

error: expected ';' after class definition

```
#include <string>

class Student
{
public:
    std::string name;
    int age = 0;
};

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.name = "David";
    student.age = 22;

    return 0;
}
```

Attention aux oubliés !

Non **initialisation** des **attributs de types fondamentaux**.

Undefined behavior (à l'exécution)

```
#include <string>

class Student
{
public:
    std::string    name;
    int           age = 0;
};

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.name = "David";
    student.age = 22;

    return 0;
}
```



Des questions?

Définir des fonctions-membres

```
class Student
{
public:
    void set_attributes(const std::string& name,
                        int age)
    {
        m_name = name;
        m_age = age;
    }

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
            << " is " << m_age << " years old"
            << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {};
    student.set_attributes("David", 22);
    student.print();
    return 0;
}
```

Définir des fonctions-membres

```

class Student
{
public:
    void set_attributes(const std::string& name,
                        int
    {
        m_name = name;
        m_age = age;
    }

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
        << " is " << m_age << " years old"
        << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};

```

```

int main()
{
    auto student = Student {};
    student.set_attributes("David", 22);
    student.print();
    return 0;
}

```

Indique que la fonction
ne modifie pas les
attributs de l'instance.

Définir un constructeur

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
            << " is " << m_age << " years old"
            << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {"David", 22};
    student.print();
    return 0;
}
```

Définir un constructeur

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
            << " is " << m_age << " years old"
            << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {"David", 22};
    student.print();
    return 0;
}
```

Un constructeur a des paramètres comme une fonction

Définir un constructeur

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
        << " is " << m_age << " years old"
        << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {"David", 22};
    student.print();
    return 0;
}
```

Et s'appelle comme ceci

Un constructeur a des paramètres comme une fonction

Définir un constructeur

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
        << " is " << m_age << " years old"
        << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {"David", 22};
    student.print();
    return 0;
}
```

La liste d'initialisation

Définir un constructeur

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
        << " is " << m_age << " years old"
        << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {"David", 22};
    student.print();
    return 0;
}
```

La liste d'initialisation
permet d'initialiser les
attributs

Définir un constructeur

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
        << " is " << m_age << " years old"
        << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    auto student = Student {"David", 22};
    student.print();
    return 0;
}
```



Des questions?

```

class Student
{
public:
    Student() = default;

    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
                    << " is " << m_age << " years old"
                    << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};

```

```

int main()
{
    const auto david = Student { "David", 22 };
    david.print();

    const auto default_student = Student {};
    default_student.print();

    return 0;
}

```

```
class Student
{
public:
    Student() = default;

    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    void print() const
    {
        std::cout << "Student called " << m_name
                    << " is " << m_age << " years old"
                    << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    const auto david = Student { "David", 22 };
    david.print();

    const auto default_student = Student {};
    default_student.print();

    return 0;
}
```

Si on écrit un constructeur, le compilateur **ne génère plus le constructeur par défaut**

```
class Student
{
public:
    Student() = default;

    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

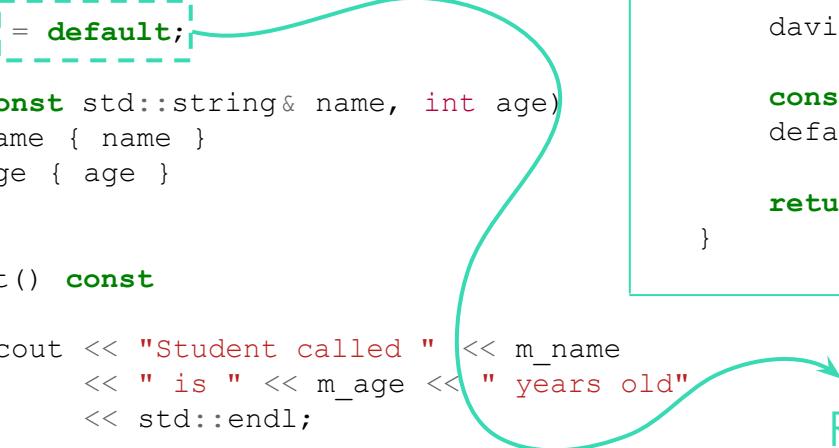
    void print() const
    {
        std::cout << "Student called "
            << m_name
            << " is " << m_age << " years old"
            << std::endl;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    const auto david = Student { "David", 22 };
    david.print();

    const auto default_student = Student {};
    default_student.print();

    return 0;
}
```



Rétablissement de l'implémentation par défaut du constructeur par défaut.

Définir un opérateur de flux ami

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    friend std::ostream& operator<<(std::ostream& stream,
                                         const Student& student)
    {
        stream << "Student called " << student.m_name
            << " is " << student.m_age << " years old.";
        return stream;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    const auto student = Student { "David", 22 };
    std::cout << student << std::endl;
    return 0;
}
```

Définir un opérateur de flux ami

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    friend std::ostream& operator<<(std::ostream& stream,
                                         const Student& student)
    {
        stream << "Student called " << student.m_name
            << " is " << student.m_age << " years old.";
        return stream;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    const auto student = Student { "David", 22 };
    std::cout << student << std::endl;
    return 0;
}
```

Ceci définit cela

Définir un opérateur de flux ami

```

class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    friend std::ostream& operator<<(std::ostream& stream,
                                         const Student& student)
    {
        stream << "Student called " << student.m_name
        << " is " << student.m_age << " years old.";
        return stream;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};

```

```

int main()
{
    const auto student = Student { "David", 22 };
    std::cout << student << std::endl;
    return 0;
}

```

Spécifie que la fonction est **amie**, c'est-à-dire peut accéder aux **champs privés**

Définir un opérateur de flux ami

```

class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

friend std::ostream& operator<<(std::ostream& stream,
                                         const Student& student)
{
    stream << "Student called " << student.m_name
        << " is " << student.m_age << " years old.";
    return stream;
}

private:
    std::string m_name;
    int          m_age = 0;
};

```

⚠️ Attention !

Une fonction amie est une **fonction libre**. Il faut donc lui passer une **instance en paramètre** pour accéder à ses membres (attributs et méthodes)

Définir un opérateur de flux ami

```
class Student
{
public:
    Student(const std::string& name, int age)
        : m_name { name }
        , m_age { age }
    {}

    friend std::ostream& operator<<(std::ostream& stream,
                                         const Student& student)
    {
        stream << "Student called " << student.m_name
            << " is " << student.m_age << " years old.";
        return stream;
    }

private:
    std::string m_name;
    int         m_age = 0;
};
```

```
int main()
{
    const auto student = Student { "David", 22 };
    std::cout << student << std::endl;
    return 0;
}
```



Des questions?

Sommaire

1. Présentation du module.
2. Hello, World!
3. Types.
4. Fonctions libres.
5. Classes.
- 6. Gestion de la mémoire**
 - a. Allocation dynamique
 - b. Cycle de vie
 - c. Ownership

- **Statique** = au moment de la **compilation**

 **Le mot-clef static n'a rien à voir**

Ex: La taille d'un entier est connue statiquement (32 ou 64 bit)

- Dès lors qu'on alloue quelque chose **sur la pile** (variable), on doit connaître sa taille statiquement

- **Dynamique** = au moment de l'**exécution**

Ex: Le nombre d'éléments dans un tableau **dynamique** n'est pas connu à la compilation

- Allocation dynamique = allocation **sur le tas** (~~malloc~~ ou new)

Allocation dynamique

```
int main()
{
    auto words = std::vector<std::string>{};

    while (true) {
        auto name = std::string {};
        std::cin >> name;
        words.emplace_back(name);
    }
}
```

Un objet est

- alloué → un segment de mémoire est attribué
 - $\approx \text{malloc}$
- construit → un **constructeur** est appelé pour remplir ce segment

...

- détruit → un **destructeur** est appelée pour nettoyer
- désalloué → la mémoire est rendu disponible
 - $\approx \text{free}$

Un objet est

- alloué → un segment de mémoire est attribué
 - $\approx \text{malloc}$
- construit → un **constructeur** est appelé pour remplir ce segment



Il ne faut utiliser l'objet que
pendant cette période

- détruit → un **destructeur** est appelée pour nettoyer
- désalloué → la mémoire est rendu disponible
 - $\approx \text{free}$



Une et une seule fois

Ownership (propriété?)

Problème: Gérer la mémoire est difficile !

- Fuite mémoire
- Double désallocation
- Dangling référence/pointeurs

Dans la plupart des autres langages: gestion automatique via un **garbage collector**

En C++: gestion semi-automatique via l'**ownership**

- On indique clairement qui a la charge de désallouer quoi
 - Usuellement indiqué dans le type
 - On sait si un objet **own** un autre objet ou s'il **observe**
- Destruction automatique des ressources owned
- On n'observe que des ressources qui ont une durée de vie plus longue

- Les types fondamentaux du C++ (int, bool,...)
- Quelques types de la bibliothèques standard (std::string, std::vector)
- Comprendre et corriger les messages d'erreurs les plus courants
- Bases des classes (membres, constructeurs, destructeurs)
- Copie vs Référence vs Référence constante vs Pointeurs
- Bases de la gestion de mémoire (Allocation, durée de vie, ownership)