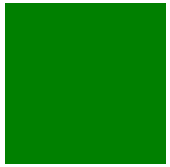
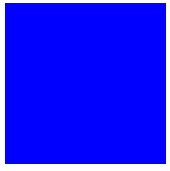
Modularité, compilation séparée

Comment vous sentez-vous en ce début de cours ?

	Curieuse, heureux, joyeux, ...
	Grumble, grumble, ...
	Inquiète
	Gros baillement

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :

- Instructions conditionnelles et itératives
- Fonctions (avec documentation et tests)
- Variables, tableaux (2D), collections
- Entrées-sorties, fichiers
- Complexité

Pourquoi aller plus loin ?

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :

- Instructions conditionnelles et itératives
- Fonctions (avec documentation et tests)
- Variables, tableaux (2D), collections
- Entrées-sorties, fichiers
- Complexité

Pourquoi aller plus loin ?

Passage à l'échelle !

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :

- Instructions conditionnelles et itératives
- Fonctions (avec documentation et tests)
- Variables, tableaux (2D), collections
- Entrées-sorties, fichiers
- Complexité

Pourquoi aller plus loin ?

Passage à l'échelle !

Maintenance de « gros » programmes

A. Digression : programmes et compilation

Retour sur la recette de la mousse au chocolat

Ingrédients

250g de chocolat, 125g de beurre, 6 œufs, 50 g de sucre, café

Étapes

- Faire fondre le chocolat avec deux cuillères d'eau
- Ajouter le beurre, laisser refroidir puis ajouter les jaunes
- Ajouter le sucre et comme parfum un peu de café
- Battre les blancs jusqu'à former une neige uniforme
- Ajouter au mélange.

A. Digression : programmes et compilation

Retour sur la recette de la mousse au chocolat

Ingrédients

250g de chocolat, 125g de beurre, 6 œufs, 50 g de sucre, café

Étapes

- Faire fondre le chocolat avec deux cuillères d'eau
- Ajouter le beurre, laisser refroidir puis ajouter les jaunes
- Ajouter le sucre et comme parfum un peu de café
- Battre les blancs jusqu'à former une neige uniforme
- Ajouter au mélange.

Est-ce bien un programme ?

A. Digression : programmes et compilation

Retour sur la recette de la mousse au chocolat

Ingrédients

250g de chocolat, 125g de beurre, 6 œufs, 50 g de sucre, café

Étapes

- Faire fondre le chocolat avec deux cuillères d'eau
- Ajouter le beurre, laisser refroidir puis ajouter les jaunes
- Ajouter le sucre et comme parfum un peu de café
- Battre les blancs jusqu'à former une neige uniforme
- Ajouter au mélange.

Est-ce bien un programme ?

Programme (rappel) : séquence d'*instructions* qui spécifie, étape par étape, les opérations à effectuer pour obtenir, à partir des *entrées*, un résultat, *la sortie*.

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »
  Trop abstrait et non informatif

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »
  Trop abstrait et non informatif
- « avec deux cuillères d'eau »

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »
  Trop abstrait et non informatif
- « avec deux cuillères d'eau »
  Ambigu : c'est combien une cuillère ?

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »
  Trop abstrait et non informatif
- « avec deux cuillères d'eau »
  Ambigu : c'est combien une cuillère ?
- « Zwei Eiweiß in Eischnee schlagen »

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »
  Trop abstrait et non informatif
- « avec deux cuillères d'eau »
  Ambigu : c'est combien une cuillère ?
- « Zwei Eiweiß in Eischnee schlagen »
  Dans quelle langue ?

A. Digression : programmes et compilation

C'est quoi une instruction ?

- « Lever le bras de 10 cm, tendre la main vers la gauche, prendre la casserole rouge, ... »
  Trop détaillé, illisible, non portable
- « Préparer une mousse au chocolat »
  Trop abstrait et non informatif
- « avec deux cuillères d'eau »
  Ambigu : c'est combien une cuillère ?
- « Zwei Eiweiß in Eischnee schlagen »
  Dans quelle langue ?

Quelles sont les instructions compréhensibles par un ordinateur ?

Assembleur

Exercice : exécuter ce fragment d'**assembleur**

puissance-quatre-extrait.s

```
mov     -0x1c(%rbp), %edx
mov     -0x1c(%rbp), %eax
imul    %edx, %eax
mov     %eax, -0x18(%rbp)
mov     -0x18(%rbp), %eax
imul    -0x18(%rbp), %eax
mov     %eax, -0x14(%rbp)
```

Indications

- `%eax`, `%edx` : deux *registres* (cases mémoire du processeur)
- `-0x14(%rbp)`, `...`, `-0x1c(%rbp)` : autres cases mémoire
- Initialiser le contenu de la case `%-0x1c(%rbp)` à 3
- `mov a, b` : copier le contenu de la case a dans la case b
- `imul a, b` : multiplier le contenu de a par celui de b et mettre le résultat dans b

Cycle de vie d'un programme : motivation

Ce que je veux :

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Cycle de vie d'un programme : motivation

Ce que je veux :

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Ce que l'ordinateur sait faire :

puissance-quatre-extrait.s

```
...
mov     -0x1c(%rbp), %edx
mov     -0x1c(%rbp), %eax
imul    %edx, %eax
mov     %eax, -0x18(%rbp)
mov     -0x18(%rbp), %eax
imul    -0x18(%rbp), %eax
mov     %eax, -0x14(%rbp)
...
```

Cycle de vie d'un programme : motivation

Ce que je veux :

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Ce que l'ordinateur sait faire :

puissance-quatre-extrait.s

```
...
mov     -0x1c(%rbp), %edx
mov     -0x1c(%rbp), %eax
imul    %edx, %eax
mov     %eax, -0x18(%rbp)
mov     -0x18(%rbp), %eax
imul    -0x18(%rbp), %eax
mov     %eax, -0x14(%rbp)
...
```

Cela ne va pas se faire tout seul ...

Cycle de vie d'un programme : formalisation et algorithme

Problème

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Cycle de vie d'un programme : formalisation et algorithme

Problème

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Formalisation

Spécification des *entrées* et des *sorties*

Scénario d'utilisation : « l'utilisateur rentre au clavier un nombre entier x ; l'ordinateur affiche en retour la valeur de x^4 à l'écran »

Cycle de vie d'un programme : formalisation et algorithme

Problème

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Formalisation

Spécification des *entrées* et des *sorties*

Scénario d'utilisation : « l'utilisateur rentre au clavier un nombre entier x ; l'ordinateur affiche en retour la valeur de x^4 à l'écran »

Recherche d'un algorithme

Comment on résout le problème ?

Quel *traitement* appliquer à l'entrée pour obtenir la sortie désirée ?

Cycle de vie d'un programme : formalisation et algorithme

Problème

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Formalisation

Spécification des *entrées* et des *sorties*

Scénario d'utilisation : « l'utilisateur rentre au clavier un nombre entier x ; l'ordinateur affiche en retour la valeur de x^4 à l'écran »

Recherche d'un algorithme

Comment on résout le problème ?

Quel *traitement* appliquer à l'entrée pour obtenir la sortie désirée ?

On note que $x^4 = x * x * x * x = (x^2)^2$

Cycle de vie d'un programme : formalisation et algorithme

Problème

« Calculer la puissance 4^e d'un nombre »

Formalisation

Spécification des *entrées* et des *sorties*

Scénario d'utilisation : « l'utilisateur rentre au clavier un nombre entier x ; l'ordinateur affiche en retour la valeur de x^4 à l'écran »

Recherche d'un algorithme

Comment on résout le problème ?

Quel *traitement* appliquer à l'entrée pour obtenir la sortie désirée ?

On note que $x^4 = x * x * x * x = (x^2)^2$

Algorithme

- calculer $x * x$
- prendre le résultat et faire de même

La notion d'algorithme

Définition (Algorithme)

- Description formelle d'un procédé de traitement qui permet, à partir d'un ensemble d'informations initiales, d'obtenir des informations déduites

La notion d'algorithme

Définition (Algorithme)

- Description formelle d'un procédé de traitement qui permet, à partir d'un ensemble d'informations initiales, d'obtenir des informations déduites
- Succession finie et non ambiguë d'opérations clairement posées

La notion d'algorithme

Définition (Algorithme)

- Description formelle d'un procédé de traitement qui permet, à partir d'un ensemble d'informations initiales, d'obtenir des informations déduites
- Succession finie et non ambiguë d'opérations clairement posées

Notes

- Doit donc toujours se terminer !

La notion d'algorithme

Définition (Algorithme)

- Description formelle d'un procédé de traitement qui permet, à partir d'un ensemble d'informations initiales, d'obtenir des informations déduites
- Succession finie et non ambiguë d'opérations clairement posées

Notes

- Doit donc toujours se terminer !
- Conçu pour communiquer entre humains

La notion d'algorithme

Définition (Algorithme)

- Description formelle d'un procédé de traitement qui permet, à partir d'un ensemble d'informations initiales, d'obtenir des informations déduites
- Succession finie et non ambiguë d'opérations clairement posées

Notes

- Doit donc toujours se terminer !
- Conçu pour communiquer entre humains
- Concept indépendant du langage dans lequel il est écrit

Cycle de vie d'un programme : implantation

Et maintenant ?

L'algorithme s'adresse à un humain

On veut l'expliquer à un ordinateur ...

Cycle de vie d'un programme : implantation

Et maintenant ?

L'algorithme s'adresse à un humain

On veut l'expliquer à un ordinateur ...

qui est stupide ; et ne comprend pas le français !

Cycle de vie d'un programme : implantation

Et maintenant ?

L'algorithme s'adresse à un humain
On veut l'expliquer à un ordinateur ...
qui est stupide ; et ne comprend pas le français !

Écriture d'un programme

Cycle de vie d'un programme : implantation

Et maintenant ?

L'algorithme s'adresse à un humain

On veut l'expliquer à un ordinateur ...

qui est stupide ; et ne comprend pas le français !

Écriture d'un programme

En assembleur ? ? ?

Cycle de vie d'un programme : implantation

Et maintenant ?

L'algorithme s'adresse à un humain
On veut l'expliquer à un ordinateur ...
qui est stupide ; et ne comprend pas le français !

Écriture d'un programme

En assembleur ? ? ?

- Trop détaillé
- Non portable
- Illisible pour l'humain !

Cycle de vie d'un programme (4)

puissance-quatre.cpp

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

int main() {
    int x, xCarre, xPuissanceQuatre;

    cout << "Entrez un entier: ";
    cin >> x;

    xCarre = x * x;
    xPuissanceQuatre = xCarre * xCarre;

    cout << "La puissance quatrième de " << x
         << " est " << xPuissanceQuatre << endl;

    return 0;
}
```

Niveaux de langages de programmation

Langage machine (binaire)

Un programme y est directement compréhensible par la machine

Niveaux de langages de programmation

Langage machine (binaire)

Un programme y est directement compréhensible par la machine

Langage d'assemblage (ou *assembleur*)

Un programme y est directement traduisible en langage machine

Niveaux de langages de programmation

Langage machine (binaire)

Un programme y est directement compréhensible par la machine

Langage d'assemblage (ou *assembleur*)

Un programme y est directement traduisible en langage machine

Langage de programmation

Un programme doit être *transformé* pour être compris par la machine

Niveaux de langages de programmation

Langage machine (binaire)

Un programme y est directement compréhensible par la machine

Langage d'assemblage (ou *assembleur*)

Un programme y est directement traduisible en langage machine

Langage de programmation

Un programme doit être *transformé* pour être compris par la machine

Question

Comment faire cette transformation ? À la main ?

Transformer en binaire : les interpréteurs

Exemple : interpréteur C++ dans Jupyter

puissance-quatre.ipynb

```
In [1]: int x;

In [2]: x = 5

Out[2]: 5
        type: int

In [3]: int xCarre = x * x;
        int xPuissance4 = xCarre * xCarre;

In [4]: xPuissance4

Out[4]: 625
        type: int
```

Transformer en binaire : les interpréteurs

Exemple : interpréteur C++ dans Jupyter

puissance-quatre.ipynb

```
In [1]: int x;

In [2]: x = 5

Out[2]: 5
        type: int

In [3]: int xCarre = x * x;
        int xPuissance4 = xCarre * xCarre;

In [4]: xPuissance4

Out[4]: 625
        type: int
```

Chaîne de production

Utilisateur $\Longrightarrow$ Instruction source $\Longrightarrow$ Interpréteur $\Longrightarrow$ Instruction machine $\Longrightarrow$ Machine

Transformer en binaire : les interpréteurs

Exemple : interpréteur C++ dans Jupyter

puissance-quatre.ipynb

```
In [1]: int x;

In [2]: x = 5

Out[2]: 5
        type: int

In [3]: int xCarre = x * x;
        int xPuissance4 = xCarre * xCarre;

In [4]: xPuissance4

Out[4]: 625
        type: int
```

Chaîne de production

Utilisateur $\Longrightarrow$ Instruction source $\Longrightarrow$ Interpréteur $\Longrightarrow$ Instruction machine $\Longrightarrow$ Machine

Exemples (quelques langages interprétés)

Basic, LISP, Perl, Python, C++, ...

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`
- Programme objet (ou binaire) : `puissance-quatre`

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`
- Programme objet (ou binaire) : `puissance-quatre`
- Exécution : `./puissance-quatre`

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`
- Programme objet (ou binaire) : `puissance-quatre`
- Exécution : `./puissance-quatre`
- Fabrication de l'assembleur : `g++ -S puissance-quatre.cpp`

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`
- Programme objet (ou binaire) : `puissance-quatre`
- Exécution : `./puissance-quatre`
- Fabrication de l'assembleur : `g++ -S puissance-quatre.cpp`
- Programme en assembleur : `puissance-quatre.s`

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`
- Programme objet (ou binaire) : `puissance-quatre`
- Exécution : `./puissance-quatre`
- Fabrication de l'assembleur : `g++ -S puissance-quatre.cpp`
- Programme en assembleur : `puissance-quatre.s`

Chaîne de production

Utilisateur $\Longrightarrow$ Programme source $\Longrightarrow$ Compilateur $\Longrightarrow$ Programme objet $\Longrightarrow$ Machine

Transformer en binaire : les compilateurs

Exemple : compilation en C++

- Programme source : `puissance-quatre.cpp`
- Compilation :
  `g++ puissance-quatre.cpp -o puissance-quatre`
- Programme objet (ou binaire) : `puissance-quatre`
- Exécution : `./puissance-quatre`
- Fabrication de l'assembleur : `g++ -S puissance-quatre.cpp`
- Programme en assembleur : `puissance-quatre.s`

Chaîne de production

Utilisateur $\Longrightarrow$ Programme source $\Longrightarrow$ Compilateur $\Longrightarrow$ Programme objet $\Longrightarrow$ Machine

Exemples (Exemples de langages compilés)

Pascal, C, C++, ADA, FORTRAN, Java, ...

Cycle de vie d'un programme : exécution, mise au point

Exécuter le programme

- Autant de fois que l'on veut !

Cycle de vie d'un programme : exécution, mise au point

Exécuter le programme

- Autant de fois que l'on veut !

Tester que le programme fonctionne

- Cas particuliers ! ! !

Cycle de vie d'un programme : exécution, mise au point

Exécuter le programme

- Autant de fois que l'on veut !

Tester que le programme fonctionne

- Cas particuliers ! ! !

Améliorer le programme

- Correction d'erreurs
- Optimisation du programme (rapidité, consommation mémoire)
- Optimisation de l'algorithme
- Amélioration du programme (lisibilité, généralisation)

Cycle de vie d'un programme : résumé

Méthodologie

1. Énoncé du problème
2. Formalisation (quel est le problème précisément)
3. Recherche d'un algorithme (comment résoudre le problème ?)
4. Programmation (implantation)
5. Interprétation / Compilation
6. Exécution
7. Mise au point (test, débogage, optimisation, diffusion)

B. Compilation séparée

compilation-separee-avant/programme1.cpp

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

int monMax(int a, int b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}

int main() {
    cout << monMax(1, 3) << endl;
    return 0;
}
```

compilation-separee-avant/programme2.cpp

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

int monMax(int a, int b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}

int main() {
    cout << "Entrez a et b:" << endl;
    int a, b;
    cin >> a >> b;
    cout << "Le maximum est: "
         << monMax(a, b) << endl;
    return 0;
}
```

B. Compilation séparée

compilation-separee-avant/programme1.cpp

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

int monMax(int a, int b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}

int main() {
    cout << monMax(1, 3) << endl;
    return 0;
}
```

compilation-separee-avant/programme2.cpp

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

int monMax(int a, int b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}

int main() {
    cout << "Entrez a et b:" << endl;
    int a, b;
    cin >> a >> b;
    cout << "Le maximum est: "
         << monMax(a, b) << endl;
    return 0;
}
```

Problème

Partager une fonction `monMax` entre ces deux programmes ?

Exemple : la bibliothèque `max`

compilation-separee/max.h

```c
/** La fonction max
 *  @param x, y deux entiers
 *  @return un entier,
 *  le maximum de x et de y
 **/
int monMax(int a, int b);
```

Exemple : la bibliothèque max

compilation-separee/max.h

```
/** La fonction max
 *  @param x, y deux entiers
 *  @return un entier,
 *  le maximum de x et de y
 **/
int monMax(int a, int b);
```

compilation-separee/max.cpp

```
#include "max.h"

int monMax(int a, int b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}
```

Exemple : la bibliothèque max

compilation-separee/max.h

```
/** La fonction max
 *  @param x, y deux entiers
 *  @return un entier,
 *  le maximum de x et de y
 **/
int monMax(int a, int b);
```

compilation-separee/max.cpp

```
#include "max.h"

int monMax(int a, int b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}
```

Deux programmes utilisant cette bibliothèque

compilation-separee/programme1.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
#include "max.h"

int main() {
    cout << monMax(1, 3) << endl;
    return 0;
}
```

compilation-separee/programme2.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
#include "max.h"

int main() {
    cout << "Entrez a et b:" << endl;
    int a, b;
    cin >> a >> b;
    cout << "Le maximum est: "
         << monMax(a, b) << endl;
    return 0;
}
```

Exemple : Les tests de la bibliothèque max

compilation-separee/maxTest.cpp

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

#include "max.h"

/** Infrastructure minimale de test **/
#define ASSERT(test) if (!(test)) cout << "Test failed in file " << __FILE__ <<

void monMaxTest() {
    ASSERT( monMax(2,3) == 3 );
    ASSERT( monMax(5,2) == 5 );
    ASSERT( monMax(1,1) == 1 );
}

int main() {
    monMaxTest();
}
```

Déclaration de fonctions

Syntaxe

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Déclaration de fonctions

Syntaxe

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Sémantique

- Le programme **définit** quelque part une fonction `monMax` avec cette **signature** : type des paramètres et type du résultat

Déclaration de fonctions

Syntaxe

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Sémantique

- Le programme **définit** quelque part une fonction `monMax` avec cette **signature** : type des paramètres et type du résultat
- Cette définition n'est pas forcément dans le même fichier

Déclaration de fonctions

Syntaxe

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Sémantique

- Le programme **définit** quelque part une fonction `monMax` avec cette **signature** : type des paramètres et type du résultat
- Cette définition n'est pas forcément dans le même fichier
- Si cette définition n'existe pas ou n'est pas unique, une erreur est déclenchée par le compilateur

Déclaration de fonctions

Syntaxe

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Sémantique

- Le programme **définit** quelque part une fonction `monMax` avec cette **signature** : type des paramètres et type du résultat
- Cette définition n'est pas forcément dans le même fichier
- Si cette définition n'existe pas ou n'est pas unique, une erreur est déclenchée par le compilateur
- Cette erreur est déclenchée au moment où l'on combine les différents fichiers (édition de liens ; voir plus loin)

Déclaration de fonctions

Syntaxe

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Sémantique

- Le programme **définit** quelque part une fonction `monMax` avec cette **signature** : type des paramètres et type du résultat
- Cette définition n'est pas forcément dans le même fichier
- Si cette définition n'existe pas ou n'est pas unique, une erreur est déclenchée par le compilateur
- Cette erreur est déclenchée au moment où l'on combine les différents fichiers (édition de liens ; voir plus loin)

♣ application

Deux fonctions qui s'appellent réciproquement

Compilation séparée

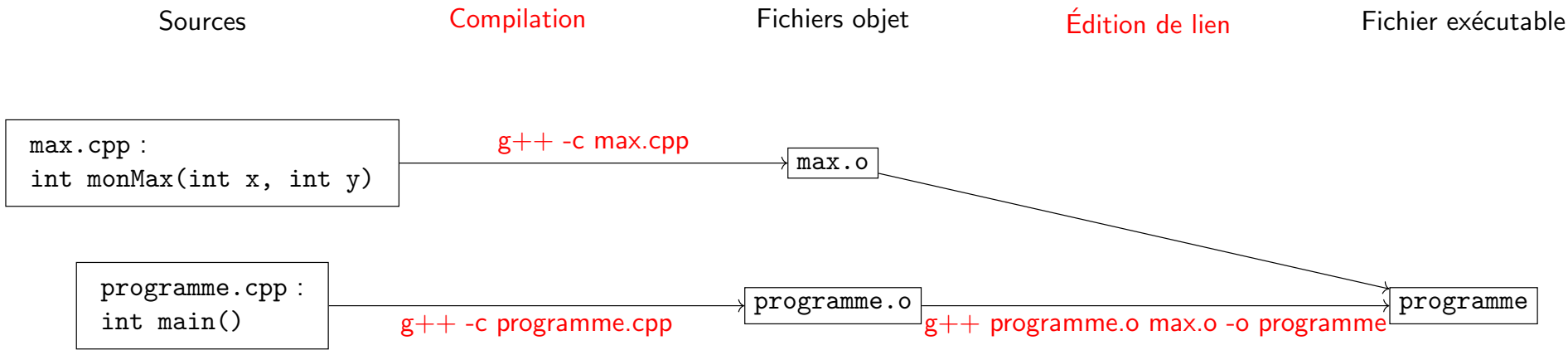
- Un programme peut être composé de plusieurs **fichiers source**
  Contenu :
  - Des **définitions** de fonctions
  - Des variables globales, ...

Compilation séparée

- Un programme peut être composé de plusieurs **fichiers source**
  Contenu :
  - Des **définitions** de fonctions
  - Des variables globales, ...
- Chaque fichier source est compilé en un **fichier objet** (extension : .o)
  Contenu :
  - Le code binaire des fonctions, ...

Compilation séparée

- Un programme peut être composé de plusieurs **fichiers source**
  Contenu :
  - Des **définitions** de fonctions
  - Des variables globales, ...
- Chaque fichier source est compilé en un **fichier objet** (extension : .o)
  Contenu :
  - Le code binaire des fonctions, ...
- L'**éditeur de lien** combine plusieurs fichiers objet en un **fichier exécutable**



Compilation séparée (2)

Au moment de l'édition de lien

- Chaque fonction utilisée doit être définie une et une seule fois
- La fonction `main` doit être définie une et une seule fois

Compilation séparée (2)

Au moment de l'édition de lien

- Chaque fonction utilisée doit être définie une et une seule fois
- La fonction `main` doit être définie une et une seule fois

Quelques variantes autour des fichiers objets ♣

- Bibliothèques (.a) :
  Une archive contenant plusieurs fichiers objets .o
- Bibliothèques dynamiques (.so) :
  Édition de lien dynamique au lancement du programme

Fichiers d'entête

Fichier .h contenant la **déclaration** des fonctions **définies** dans le fichier .cpp correspondant

Exemple (Fichier d'entête `max.h`)

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Fichiers d'entête

Fichier .h contenant la **déclaration** des fonctions **définies** dans le fichier .cpp correspondant

Exemple (Fichier d'entête `max.h`)

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Syntaxe (Utilisation d'un fichier d'entête)

```
#include "max.h"
```

Fichiers d'entête

Fichier .h contenant la **déclaration** des fonctions **définies** dans le fichier .cpp correspondant

Exemple (Fichier d'entête `max.h`)

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Syntaxe (Utilisation d'un fichier d'entête)

```
#include "max.h"
```

Sémantique

Utiliser la bibliothèque `max`

Fichiers d'entête

Fichier .h contenant la **déclaration** des fonctions **définies** dans le fichier .cpp correspondant

Exemple (Fichier d'entête `max.h`)

compilation-separee/max.h

```
int monMax(int a, int b);
```

Syntaxe (Utilisation d'un fichier d'entête)

```
#include "max.h"
```

Sémantique

Utiliser la bibliothèque `max`

Implantation en C++

- Équivalent à copier-coller le contenu de `max.h` à l'emplacement du `#include "max.h"`
- ♣ Géré par le préprocesseur (cpp)

Inclusion de fichiers d'entêtes standards

Syntaxe

```
#include <iostream>
```

Inclusion de fichiers d'entêtes standards

Syntaxe

```
#include <iostream>
```

Sémantique

- Charge la déclaration de toutes les fonctions définies dans la bibliothèque standard `iostream` de C++

Inclusion de fichiers d'entêtes standards

Syntaxe

```
#include <iostream>
```

Sémantique

- Charge la déclaration de toutes les fonctions définies dans la bibliothèque standard `iostream` de C++
- Le fichier `iostream` est recherché dans les répertoires standards du système

Inclusion de fichiers d'entêtes standards

Syntaxe

```
#include <iostream>
```

Sémantique

- Charge la déclaration de toutes les fonctions définies dans la bibliothèque standard `iostream` de C++
- Le fichier `iostream` est recherché dans les répertoires standards du système
- Sous linux : `/usr/include`, ...

Résumé : implantation d'une bibliothèque en C++

Écrire un fichier d'entête (max.h)

- La déclaration de toutes les fonctions publiques
- **Avec leur documentation !**

Résumé : implantation d'une bibliothèque en C++

Écrire un fichier d'entête (max.h)

- La déclaration de toutes les fonctions publiques
- **Avec leur documentation !**

Écrire un fichier source (max.cpp)

- La définition de toutes les fonctions
- **Inclure le fichier .h !**

Résumé : implantation d'une bibliothèque en C++

Écrire un fichier d'entête (max.h)

- La déclaration de toutes les fonctions publiques
- **Avec leur documentation !**

Écrire un fichier source (max.cpp)

- La définition de toutes les fonctions
- **Inclure le fichier .h !**

Écrire un fichier de tests (maxTest.cpp)

- Les fonctions de tests
- Une fonction `main` lançant tous les tests

Résumé : utilisation d'une bibliothèque en C++

Inclusion des entêtes

```
#include <iostream>  // fichier d'entête standard
#include "max.h"     // fichier d'entête perso
```

Résumé : utilisation d'une bibliothèque en C++

Inclusion des entêtes

```
#include <iostream>  // fichier d'entête standard
#include "max.h"     // fichier d'entête perso
```

Compilation

```
g++ -c max.cpp
g++ -c programme1.cpp
g++ max.o programme1.o -o programme1
```

En une seule étape :

```
g++ max.cpp programme1.cpp -o programme1
```

Digression : surcharge de fonctions ♣

Exemple (la fonction `monMax` : `Exemples/max-surcharge.cpp`)

- Pour les entiers, les réels, les chaînes de caractères, ...

max-surcharge.cpp

```
int monMax(int a, int b) {
```

max-surcharge.cpp

```
string monMax(string a, string b) {
```

- À deux ou trois arguments (et plus ?)

max-surcharge.cpp

```
int monMax(int a, int b, int c) {
```

Digression : surcharge de fonctions ♣

Exemple (la fonction `monMax` : `Exemples/max-surcharge.cpp`)

- Pour les entiers, les réels, les chaînes de caractères, ...

max-surcharge.cpp

```
int monMax(int a, int b) {
```

max-surcharge.cpp

```
string monMax(string a, string b) {
```

- À deux ou trois arguments (et plus ?)

max-surcharge.cpp

```
int monMax(int a, int b, int c) {
```

Surcharge

- En C++, on peut avoir plusieurs fonctions avec le même nom et des signatures différentes
- Idem en Java, mais pas en C ou en Python par exemple !
- Il est recommandé que toutes les fonctions ayant le même nom aient la même **sémantique**

Digression : templates ♣

- L'exemple précédent n'est pas satisfaisant (duplication)
- Correctif : les **templates** pour écrire du code **générique**
  La fonction `monMax` suivante est valide pour tout type sur lequel on peut faire des comparaisons :

max-surcharge-templates.cpp

```
template<class T>
T monMax(T a, T b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}
```

Digression : templates ♣

- L'exemple précédent n'est pas satisfaisant (duplication)
- Correctif : les **templates** pour écrire du code **générique**
  La fonction `monMax` suivante est valide pour tout type sur lequel on peut faire des comparaisons :

max-surcharge-templates.cpp

```
template<class T>
T monMax(T a, T b) {
    if ( a >= b )
        return a;
    else
        return b;
}
```

- Ce sera pour un autre cours !

Digression : espaces de noms ♣

Problème

Conflit entre bibliothèques définissant des fonctions avec le même nom et la même signature !

Digression : espaces de noms ♣

Problème

Conflit entre bibliothèques définissant des fonctions avec le même nom et la même signature !

Solution

Isoler chaque bibliothèque dans un **espace de noms**

Digression : espaces de noms ♣

Problème

Conflit entre bibliothèques définissant des fonctions avec le même nom et la même signature !

Solution

Isoler chaque bibliothèque dans un **espace de noms**

Exemple

La bibliothèque standard C++ utilise l'espace de nom `std` :

bonjour-std.cpp

```
#include <iostream>
int main() {
    std::cout << "Bonjour !" << std::endl;
    return 0;
}
```

- `using namespace std ;` : raccourcis pour std
- Vous verrez plus tard comment créer vos propres espaces de noms

Digression : débogage, prévention

Développement incrémental

- Toujours être « proche de quelque chose qui marche »

Digression : débogage, prévention

Développement incrémental

- Toujours être « proche de quelque chose qui marche »
- Gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

Digression : débogage, prévention

Développement incrémental

- Toujours être « proche de quelque chose qui marche »
- Gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

Spécifications et tests

- Définir précisément la sémantique des fonctions :
  qu'est-ce qu'elles doivent faire
- Tester que la sémantique est respectée sur des exemples

Digression : débogage, prévention

Développement incrémental

- Toujours être « proche de quelque chose qui marche »
- Gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

Spécifications et tests

- Définir précisément la sémantique des fonctions :
  qu'est-ce qu'elles doivent faire
- Tester que la sémantique est respectée sur des exemples

Modularité

- Découpage d'un programme en fonctions : **Cours 4**
- Découpage d'un programme en modules : **Aujourd'hui !**
- Découpage d'un programme en espace de noms : **Plus tard**

Résumé de la séance

Programmes et compilation

- Programme, sources, binaire/assembleur
- Interpréteur, Compilateur
- Cycle de vie d'un programme

Compilation séparée pour la modularité

- Découper un programme non seulement en fonctions, mais en fichiers

Résumé de la séance

Programmes et compilation

- Programme, sources, binaire/assembleur
- Interpréteur, Compilateur
- Cycle de vie d'un programme

Compilation séparée pour la modularité

- Découper un programme non seulement en fonctions, mais en fichiers
- Bibliothèque de fonctions réutilisables entre programmes

Résumé de la séance

Programmes et compilation

- Programme, sources, binaire/assembleur
- Interpréteur, Compilateur
- Cycle de vie d'un programme

Compilation séparée pour la modularité

- Découper un programme non seulement en fonctions, mais en fichiers
- Bibliothèque de fonctions réutilisables entre programmes
  - fichier d'entêtes : `max.h`
  - fichier source : `max.cpp`
  - fichier de tests : `maxTest.cpp`

Résumé de la séance

Programmes et compilation

- Programme, sources, binaire/assembleur
- Interpréteur, Compilateur
- Cycle de vie d'un programme

Compilation séparée pour la modularité

- Découper un programme non seulement en fonctions, mais en fichiers
- Bibliothèque de fonctions réutilisables entre programmes
  - fichier d'entêtes : `max.h`
  - fichier source : `max.cpp`
  - fichier de tests : `maxTest.cpp`

Digressions

- Surcharge
- Templates
- Espaces de noms