

# Décomposition modulaire

## Objectifs: maîtriser un projet

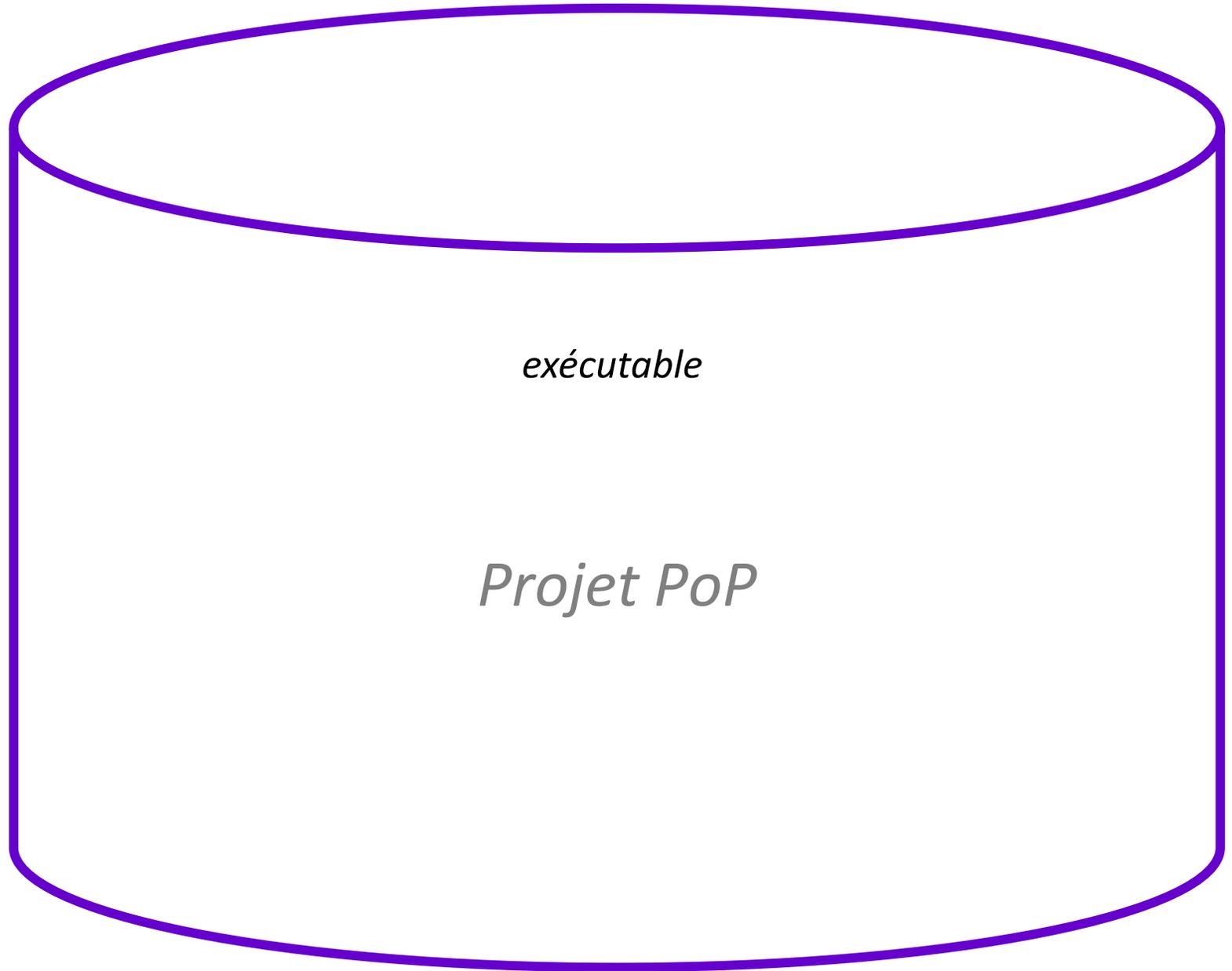
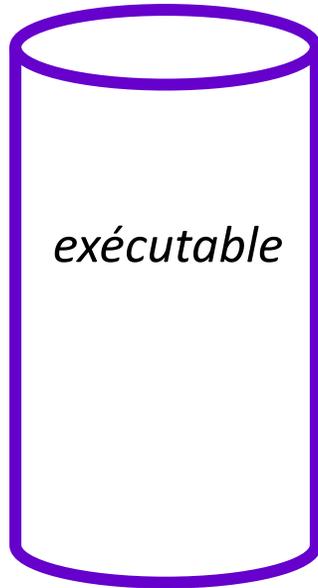
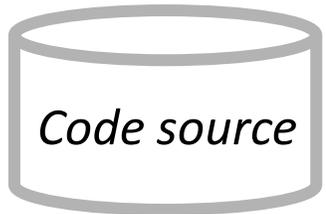
- Présenter les autres grands principes
- Définir la notion d'architecture logicielle
- Identifier et minimiser les dépendances entre modules

## Plan:

- Rappels et nouveaux principes
- un **module** = 2 fichiers = **interface** + **implementation**
- du graphe des appels à l'architecture logicielle
- de l'architecture au graphe des dépendances
- la commande **make** et le fichier **Makefile**

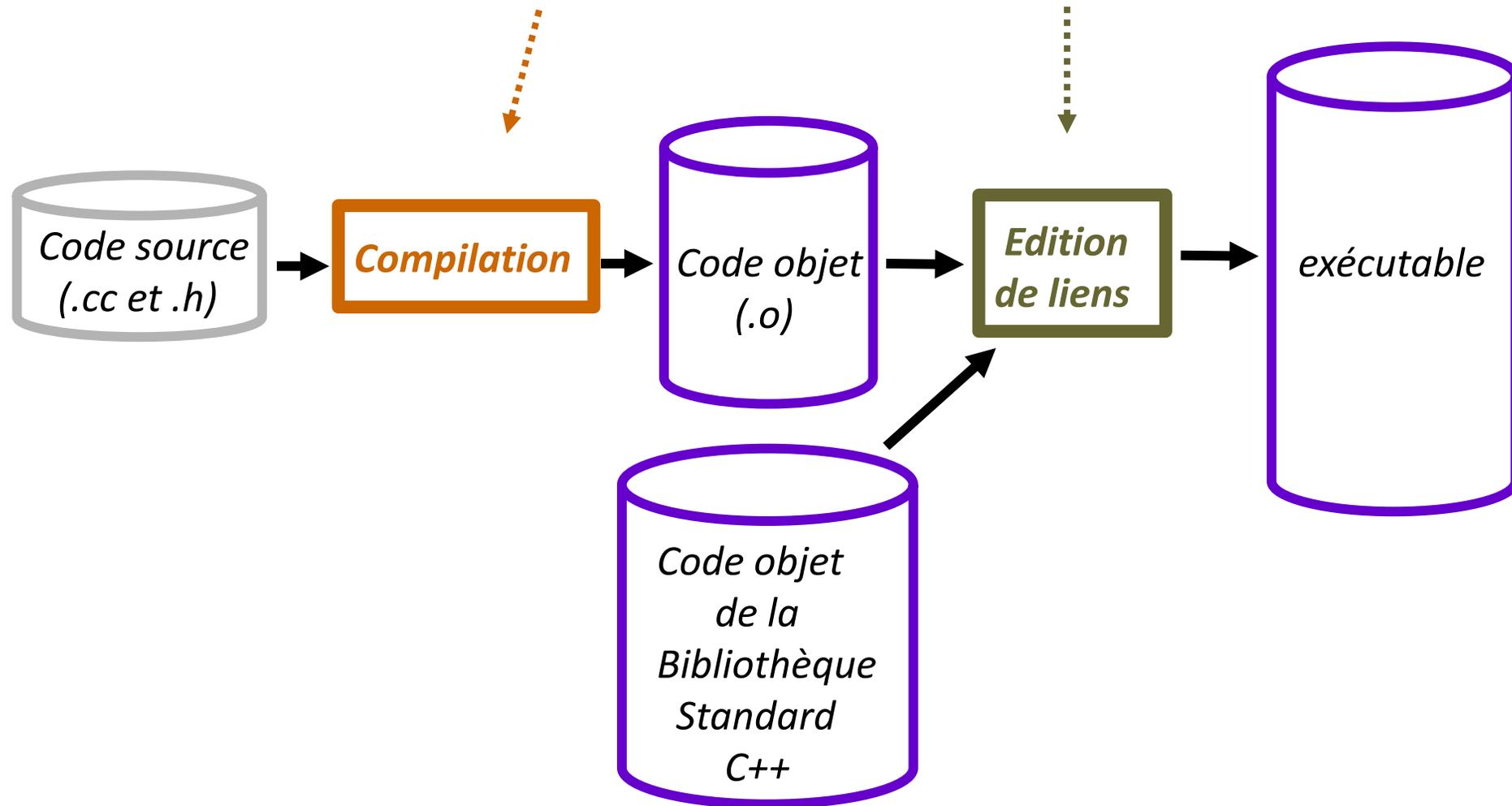
*But du cours: comment maîtriser la complexité d'un grand projet ?*

*Projet  
d'automne*

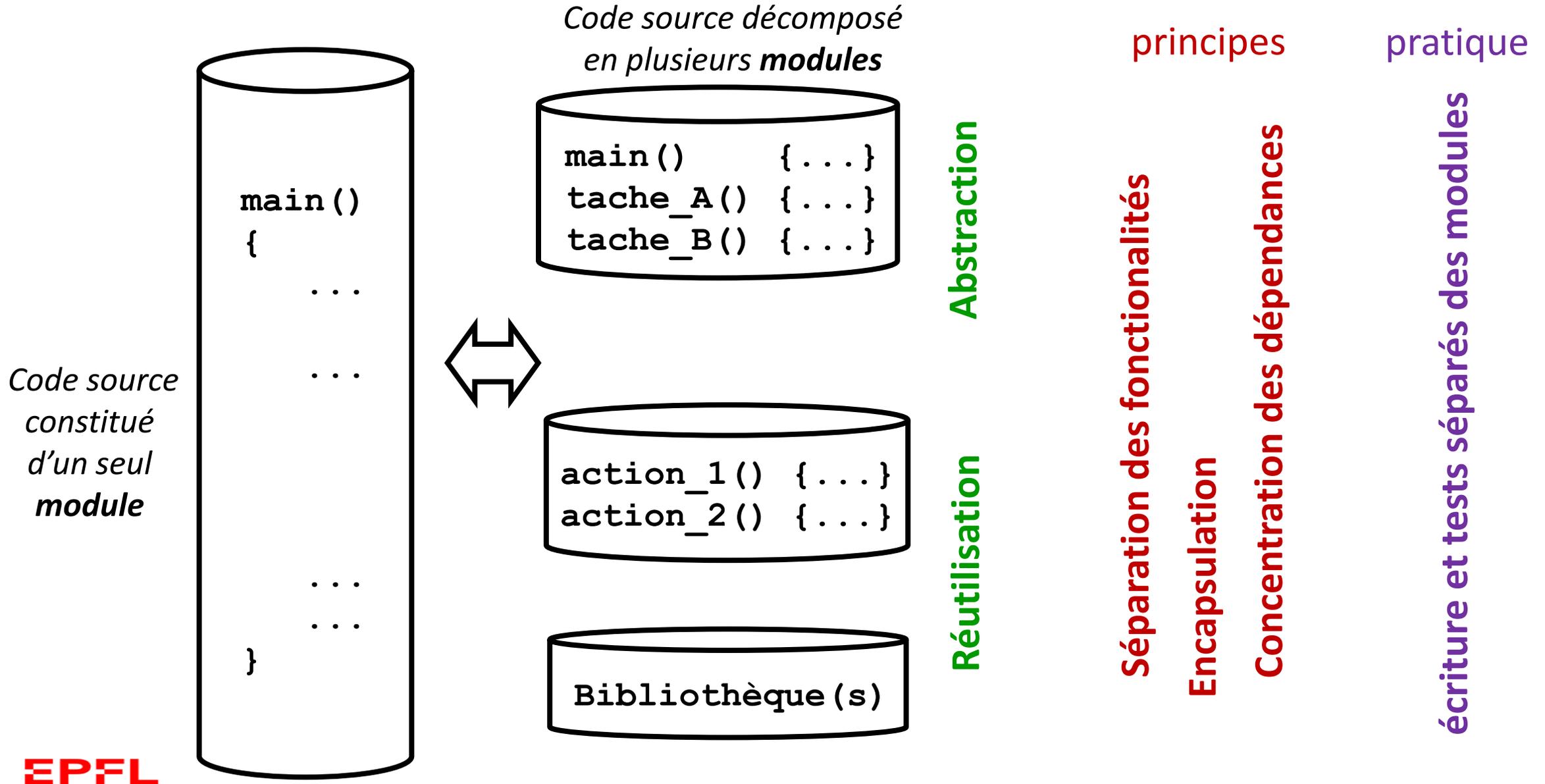


# RAPPEL sur la production d'un exécutable

2 Etapes: la *compilation* et l'*édition de liens*



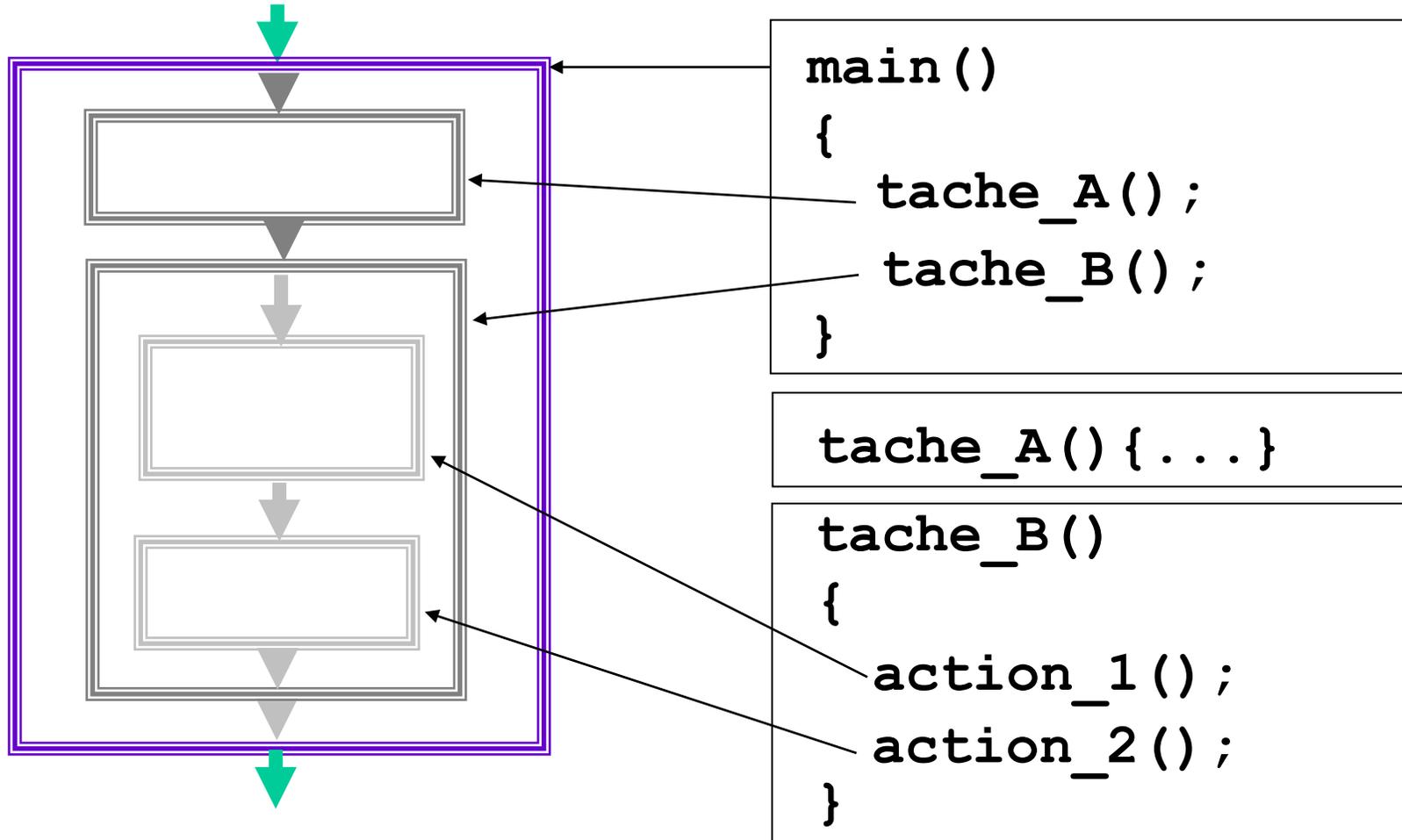
Cours d'aujourd'hui: programmation modulaire  
=> décomposition en fonctions regroupées en modules



# Rappel sur les fonctions: Principe d'Abstraction

Approche top-down

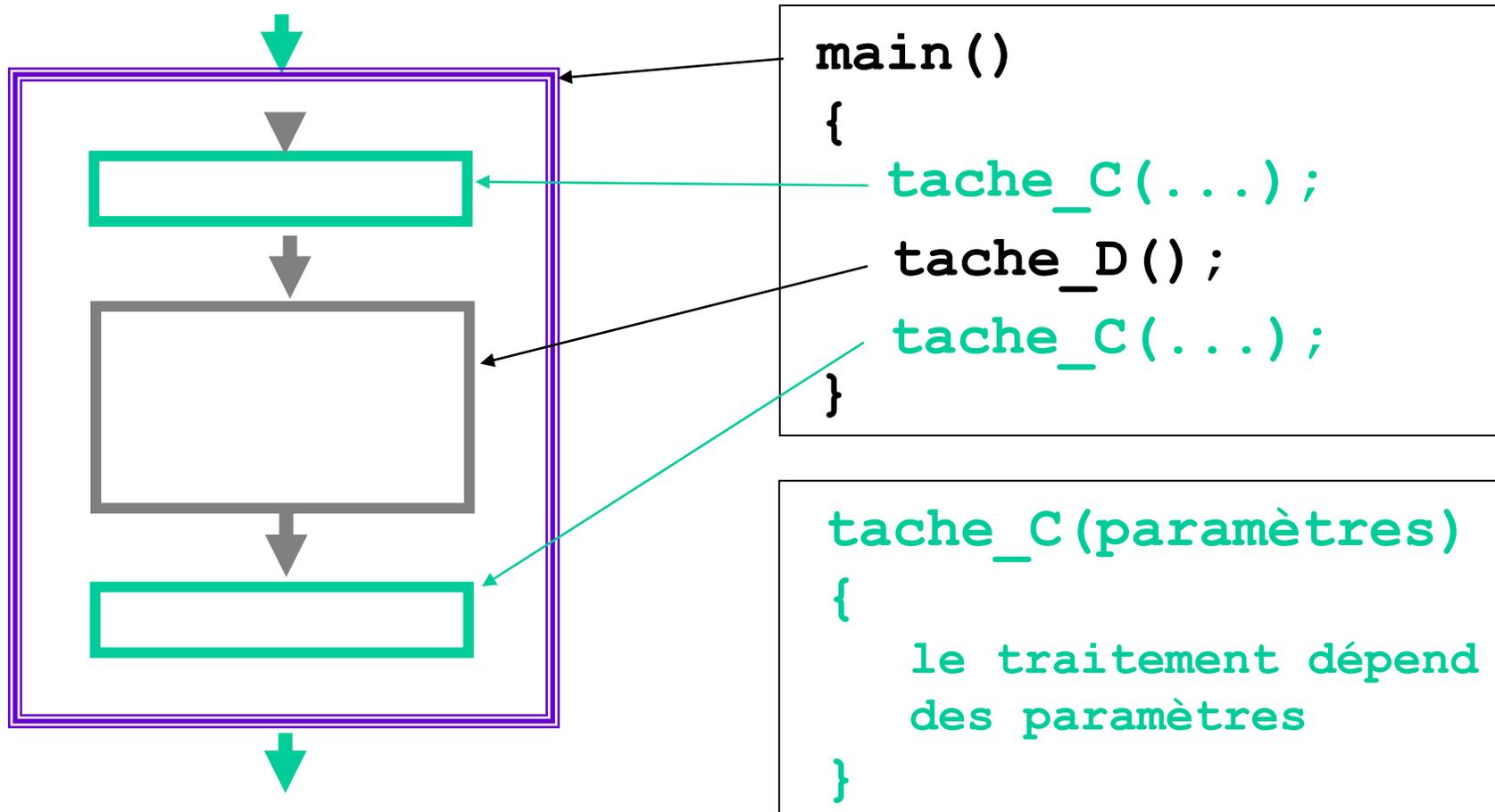
- 1) **Principe d'Abstraction**: présenter l'idée générale de la solution (aux niveaux supérieurs) sans se perdre dans les détails



# Rappel sur les fonctions : Principe de Ré-utilisation

Approche bottom-up: ne pas ré-inventer la roue

- 2) **Principe de Ré-utilisation** pour réduire l'effort de mise au point et la taille du code en **ré-utilisant du code**



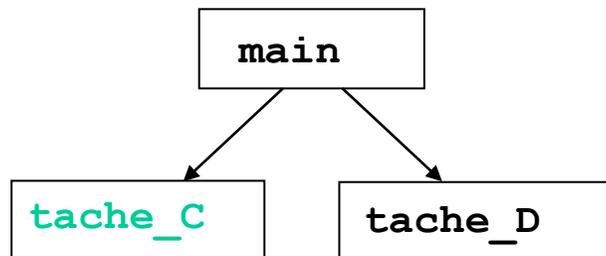
# Le graphe des appels de fonctions

Offre une vue synthétique des dépendances entre fonctions:

- chaque fonction n'apparaît qu'une seule fois
- les fonction standards ne sont pas indiquées (lisibilité)
- les fonctions sont généralement organisées en couches:
  - la fonction appelante est au dessus de la fonction appelée
  - structure de graphe orienté : une fonction = un nœud, une flèche = une dépendance appelant/appelé

Exercice: établir le graphe d'appel des fonctions de votre projet du sem1

```
main()
{
  tache_C(...);
  tache_D();
  tache_C(...);
}
```

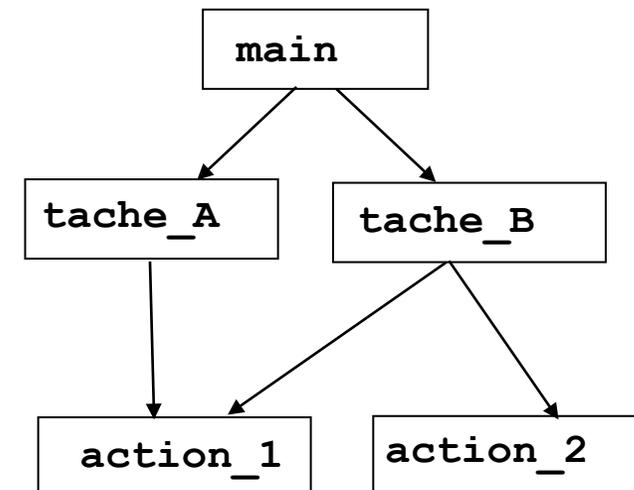


```
main()
{
  tache_A();
  tache_B();
}
```

```
tache_A()
{ action_1();
}
```

```
tache_B()
{
  action_1();
  action_2();
}
```

Cette variante illustre aussi le principe de ré-utilisation



# Décomposition modulaire d'un projet

*Pourquoi créer un module ?*

Principes:

**Abstraction** : offrir une vue générale claire, déléguer les sous-problèmes

**Ré-utilisation dans d'autres programmes**

- fonctions utilitaires (ex: math) ou associées à une structure de données

**Séparation des fonctionnalités (Separation of Concerns)**

- offrir des unités logicielles cohérentes (module ou groupe de modules)  
généralement dédiées à un **type de données**  
-> Les responsabilités sont clairement partagées entre les modules.

**Encapsulation de type « Boîte Noire » (Information Hiding)**

- minimiser les dépendances entre modules (*type opaque*)

**Concentration des dépendances** vis-à-vis de bibliothèques externes

- exemple projet: vis à vis de la bibliothèque graphique

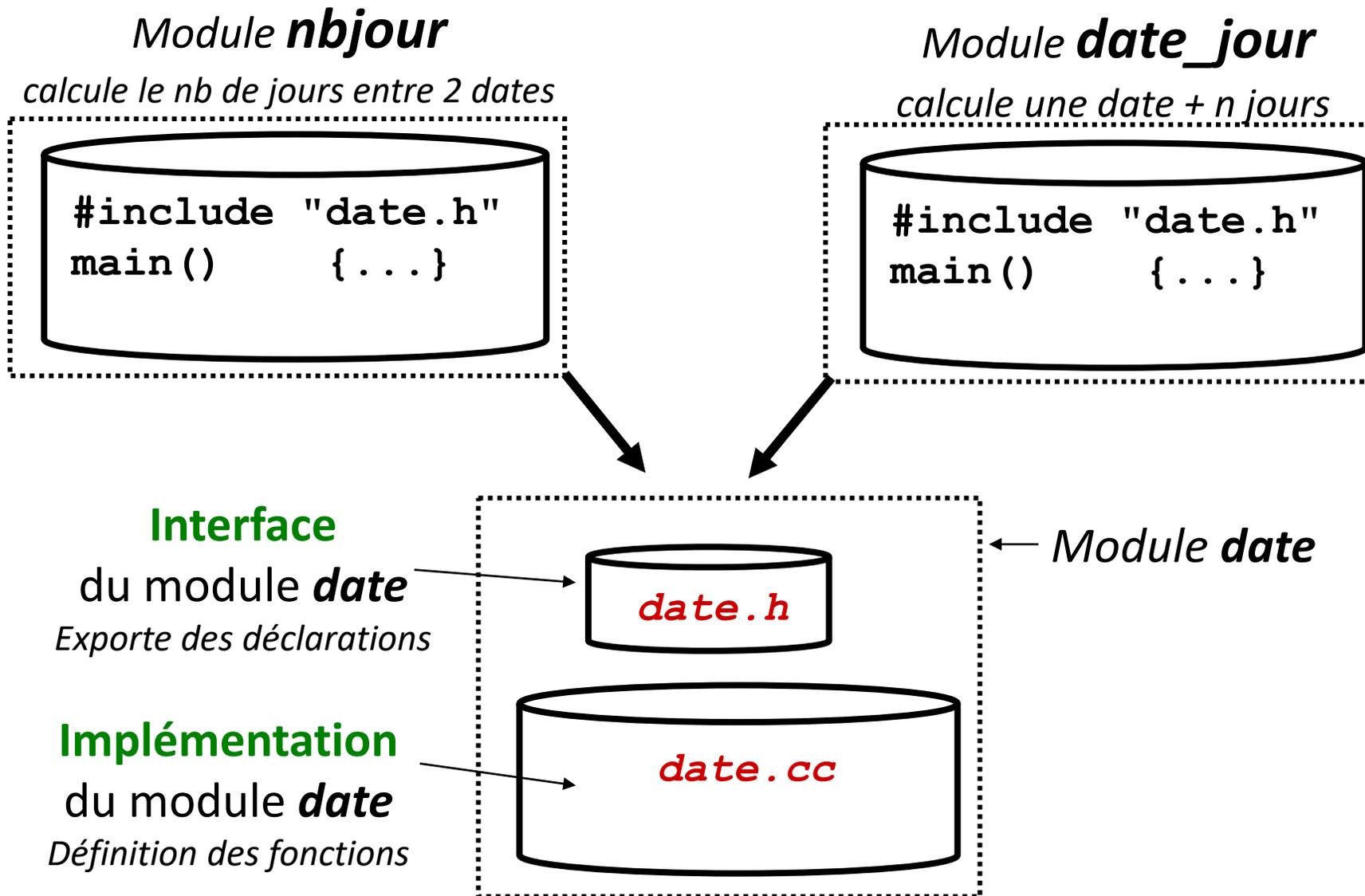
*C'est quoi au juste un module ?*

***un module = une interface + une implémentation***

Définitions: un **module** est composé de **deux fichiers sources**

- Son fichier d' **interface** décrit son BUT ; il contient essentiellement les **prototypes** des fonctions *exportées* et documentées dans le **fichier en-tête (.h)**.
  - Pour pouvoir appeler ces fonctions dans d'autres modules, il faut et il suffit d'une directive **include** pour inclure cette interface.
- Son fichier d' **implémentation** est le code source définissant COMMENT les fonctions du module sont mises en œuvre (**.cc** ).
  - Une même interface (**.h**) peut avoir des implémentations (**.cc**) très différentes.

# Exemple1: deux applications ré-utilisent un module date



# *Du graphe des appels de fonctions à l'Architecture Logicielle d'un projet*

*passage à une représentation avec une granularité plus grosse*

**But: l'Architecture logicielle d'un projet** décrit les **dépendances** entre les blocs le constituant (modules, groupe de modules, bibliothèques)

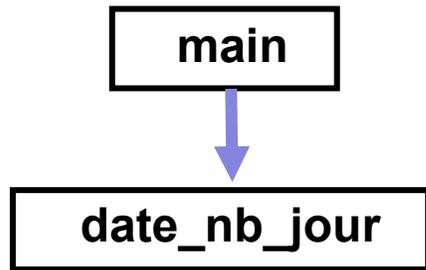
Structure de **graphe orienté** (*similaire au graphe des appels de fonctions*):

- **un module** = un nœud
- **une flèche** = une dépendance "appelant / appelé" entre 2 noeuds

Remarque: si 2 modules sont **mutuellement dépendants** (= possèdent des fonctions qui appellent des fonctions de l'autre module), ils **sont regroupés dans un même bloc**.

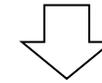
## Exemple 1: application nbjour avec 2 modules

Graphe des appels  
de fonctions

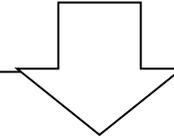


But du programme :

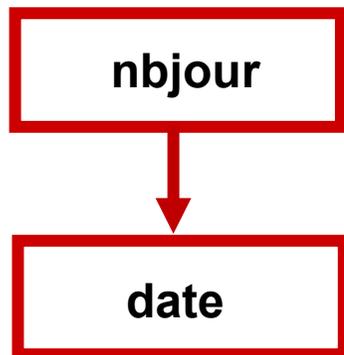
indiquer le nombre de jours entre deux dates fournies par l'utilisateur



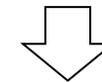
**main()** est responsable du dialogue utilisateur ; elle est dans le module **nbjour**. Elle appelle la fonction **date\_nb\_jour()** fournie par le module **date**



Architecture logicielle

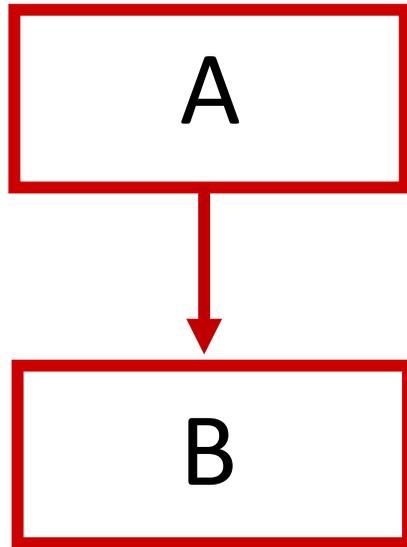


pour pouvoir appeler correctement la fonction **date\_nb\_jour()**, le module **nbjour** **inclut le fichier date.h** du module **date**



l'**architecture logicielle** montre seulement les liens (dépendances) entre les modules

# Nature et conséquences d'une dépendance entre deux modules (1)



Définition: un module **A** **dépend** d'un module **B**  
si **A** inclut l'**interface** du module **B** (= **B.h**)

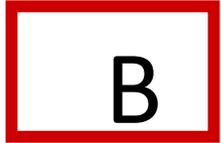
Justification:

le module **A** veut utiliser une ressource du  
module **B** qui est présente dans **B.h**

Observation: inclure l'**interface** du module **B** réduit la dépendance au minimum  
car le fichier(**B.h**) est très petit comparé à son **implémentation** (**B.cc**).

On y met seulement ce type d'éléments: *déclaration de fonctions, de classes,  
définition de type, modèle de structure, symboles...*

Exemple:



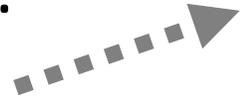
module  
calcul



calcul.h

calcul.cc

prog.cc



```
#include <iostream>
#include "calcul.h"
using namespace std;
int main(void)
{
    int a(0), b(0);
    cin >> a >> b ;
    cout << div(a,b) << end;
}
```

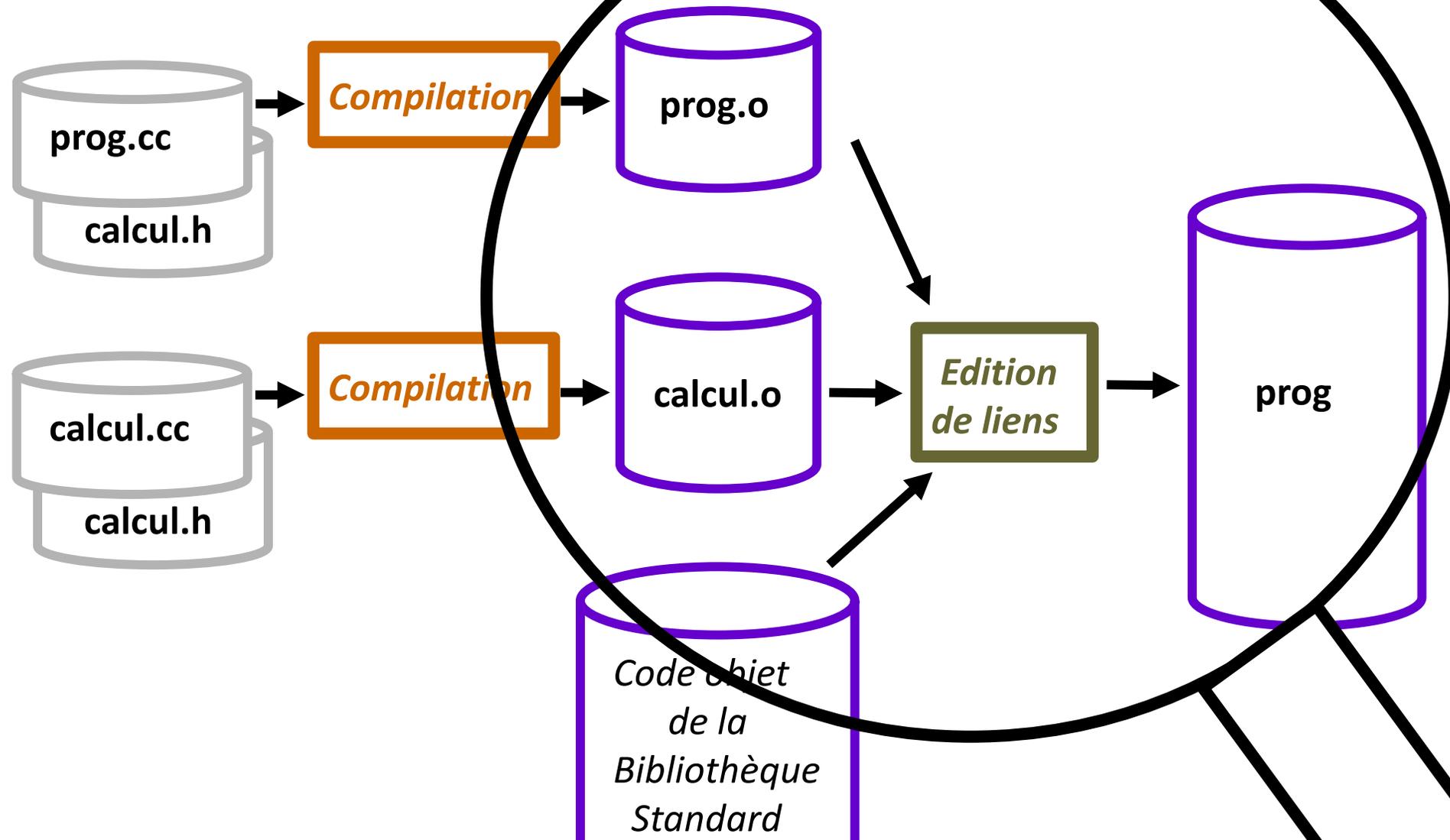
```
int div(int num, int denom);
```

```
#include "calcul.h"

int div(int num, int denom)
{
    if(denom != 0)
        return num/denom ;
    return 0;
}
```

## Exemple (suite):

*Comment l'exécutable de ce programme modulaire est-il produit ?*



## EdStem Quizz1:

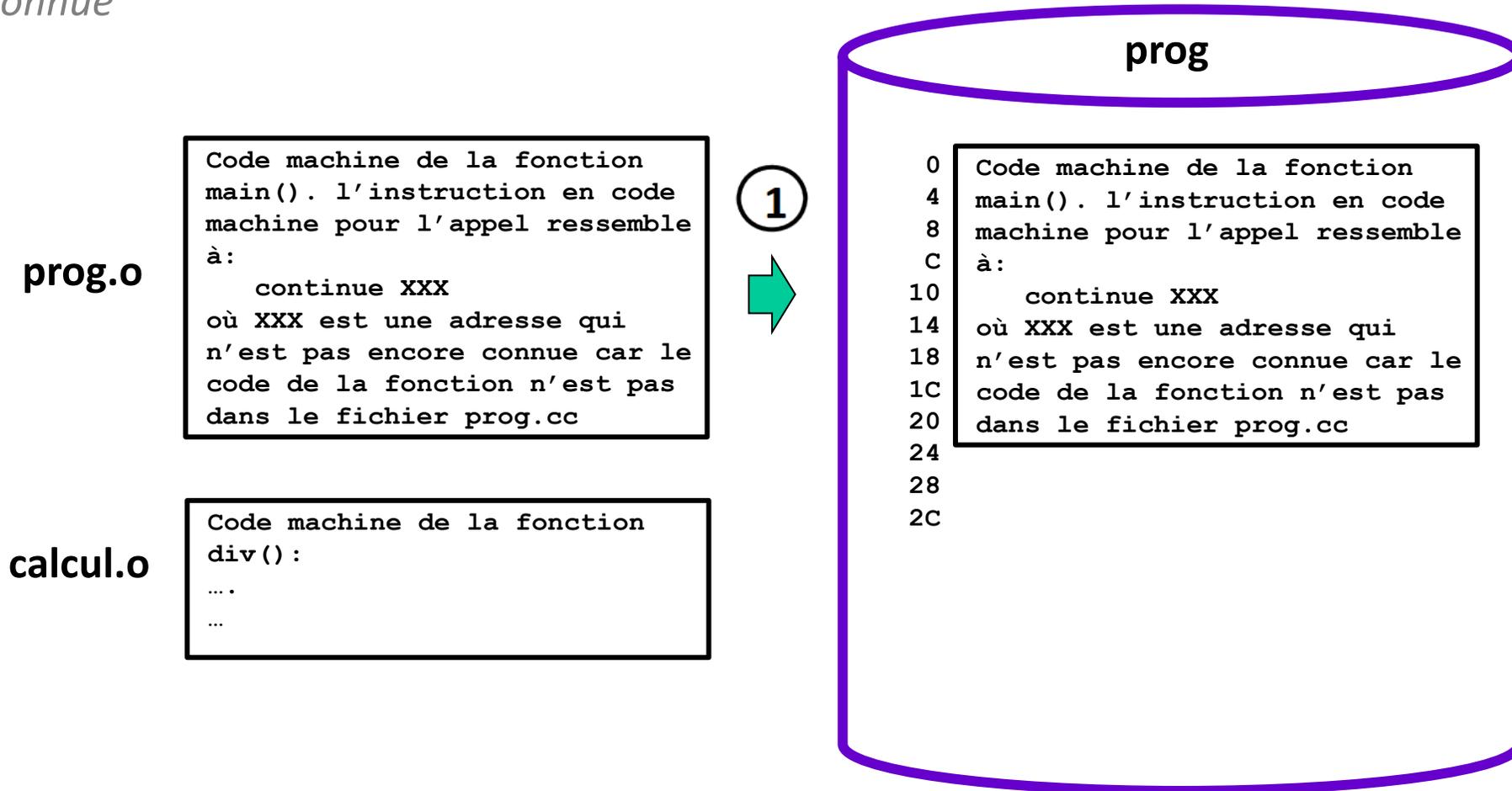
La compilation de **prog.cc** (qui inclut calcul.h) produit le code objet **prog.o** contenant les instructions en langage machine de la fonction **main()** ...

A) ... ainsi que l'ensemble des instructions en langage machine de la fonction **div()**

B) ... dont une seule instruction en langage machine sert pour traduire l'appel de la fonction **div()**

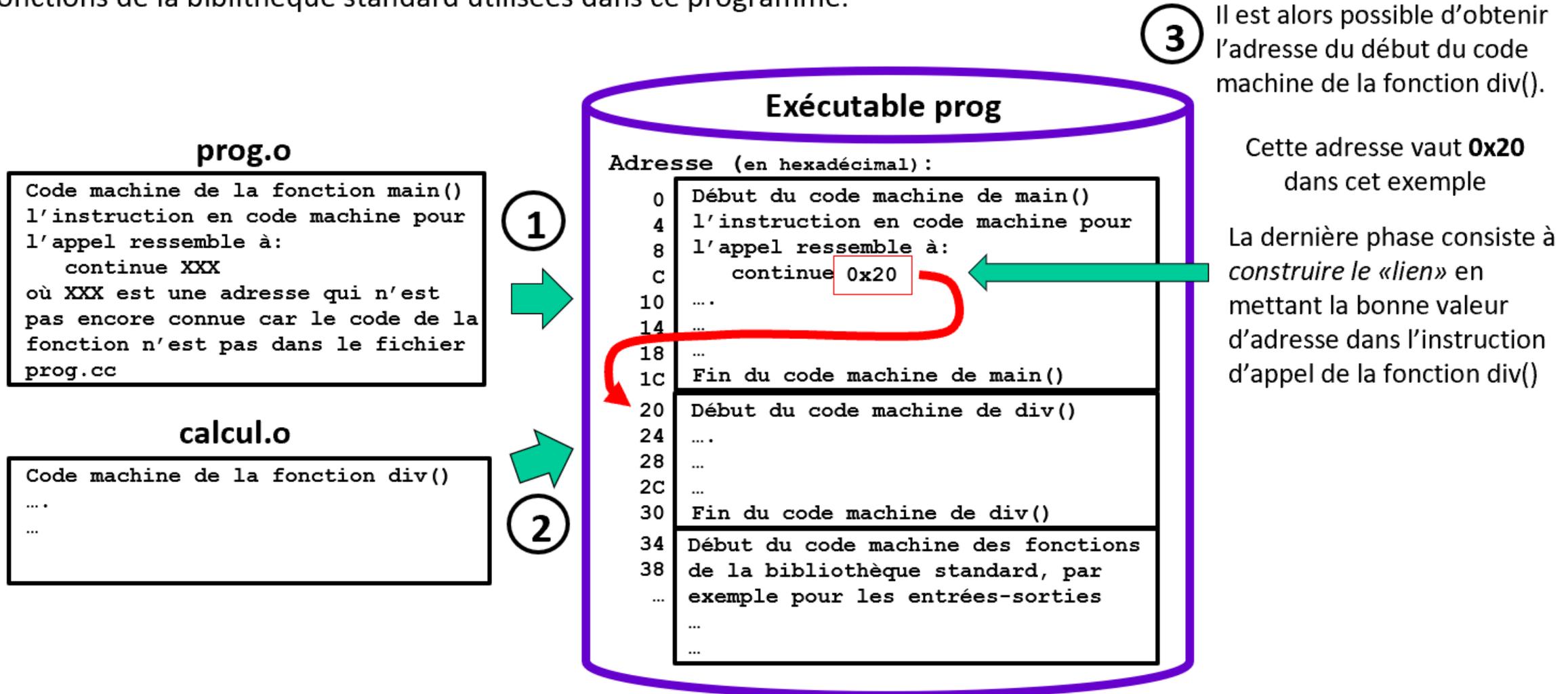
## Exemple (suite):

L'édition de lien installe d'abord le code machine `prog.o` dans l'exécutable puis ajoute à la suite le code machine de `calcul.o` (c'est-à-dire le code machine de la fonction `div`). A partir de ce moment l'adresse du début du code machine de la fonction `div` est connue

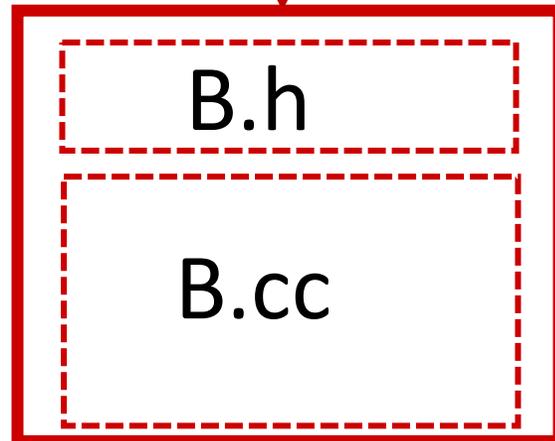
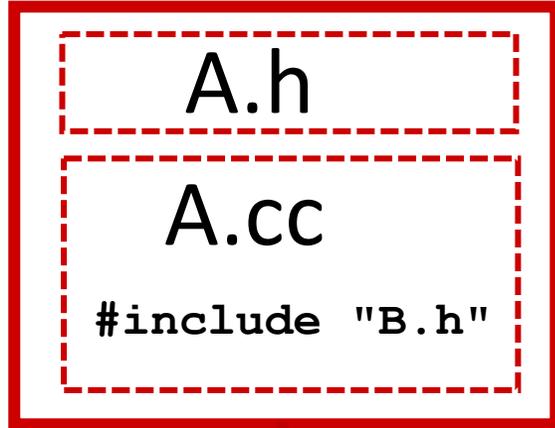


## Exemple (suite):

L'édition de lien installe d'abord le code machine **prog.o** dans l'exécutable, c'est-à-dire **main()**, puis ajoute à la suite le code machine de **calcul.o**, c'est-à-dire le code machine de la fonction **div()** puis vient le code machine des fonctions de la bibliothèque standard utilisées dans ce programme.



# Nature et conséquences d'une dépendance entre deux modules (2)



Que se passe-t-il si :



il faut au moins  
recompiler  
le module A !

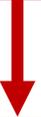
Souvent il faut  
aussi modifier le  
module A: **peut  
prendre du temps**

Rien à faire  
au niveau du  
module A !

Et cela même si  
l'implémentation  
**B.cc** a été modifiée:  
**gain de temps**

Exemple:

A



B



module  
calcul

prog.cc

```
#include <iostream>
#include "calcul.h"
using namespace std;
int main(void)
{
    int a(0), b(0);
    cin >> a >> b ;
    cout << div(a,b) << end;
}
```

calcul.h

```
int div(int num, int denom);
```

calcul.cc

```
#include "calcul.h"
#define VERYBIG 2147483647
int div(int num, int denom)
{
    if(denom != 0)
        return num/denom ;
    return VERYBIG;
}
```

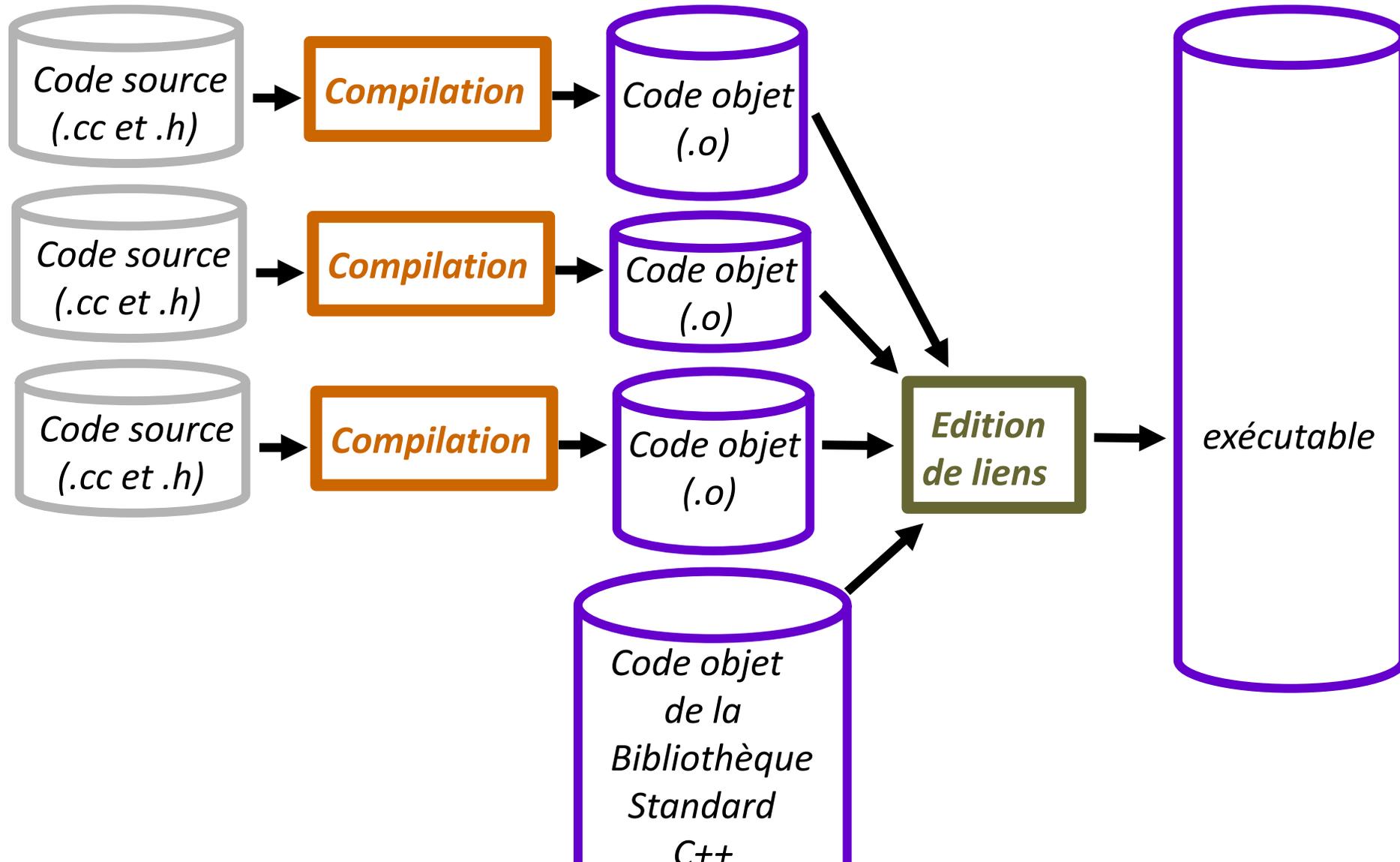
## EdStem Quizz2:

il faut recompiler **prog.cc** ...

- A) ... dès que calcul.**h** est modifié
- B) ... dès que calcul.**cc** est modifié
- C) ... seulement si calcul.**h** ET calcul.**cc** sont modifiés

# Programmation modulaire => Compilation séparée

## Cas général



# Programmation modulaire => Compilation séparée

*Attention: risques importants d'incohérence*

## Compilation simultanée des fichiers :

- **Avantage:** garantie de cohérence entre sources, objets, exécutable
- **Inconvénient:** durée de compilation parfois non négligeable

```
$ g++ prog.cc calcul.cc -o prog
```

```
$ ./prog
```

```
8 2
```

```
4
```

## Compilation séparée des fichiers:

- **Avantage:** tests et mises à jours indépendants
- **Inconvénient:** risques d'incohérence entre les fichiers objets si le code source est modifié *sans recompiler les fichiers dépendants*

```
$ g++ -c prog.cc
```

```
$ g++ calcul.cc
```

```
$ g++ calcul.h
```

```
$ g++ -c calcul.cc
```

```
$ g++ prog.o calcul.o -o prog
```

*De l'Architecture Logicielle (outil de conception => granularité : les modules)  
au Graphe des dépendances (outil de production => granularité: les fichiers)  
=> Identifier les dépendances entre fichiers*

*Lorsqu'on veut produire un fichier **exécutable** il faut considérer explicitement tous les **fichiers** utilisés pour produire cet **exécutable**: **.o** + **bibliothèques** + **.h, .cc***

**Problème**: gros risque d'incohérence des versions de tous ces fichiers si on réalise cette gestion « à la main ».

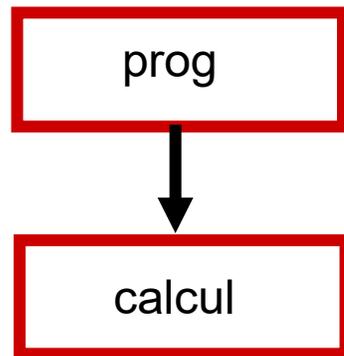
**Solution**: automatiser les décisions de recompilation avec la commande **make** du système LINUX.

Un Graphe des dépendances de tous les fichiers sources et objets est mémorisé dans un fichier **Makefile**. (Série 0)

# Différence entre l'architecture logicielle et le graphe des dépendances

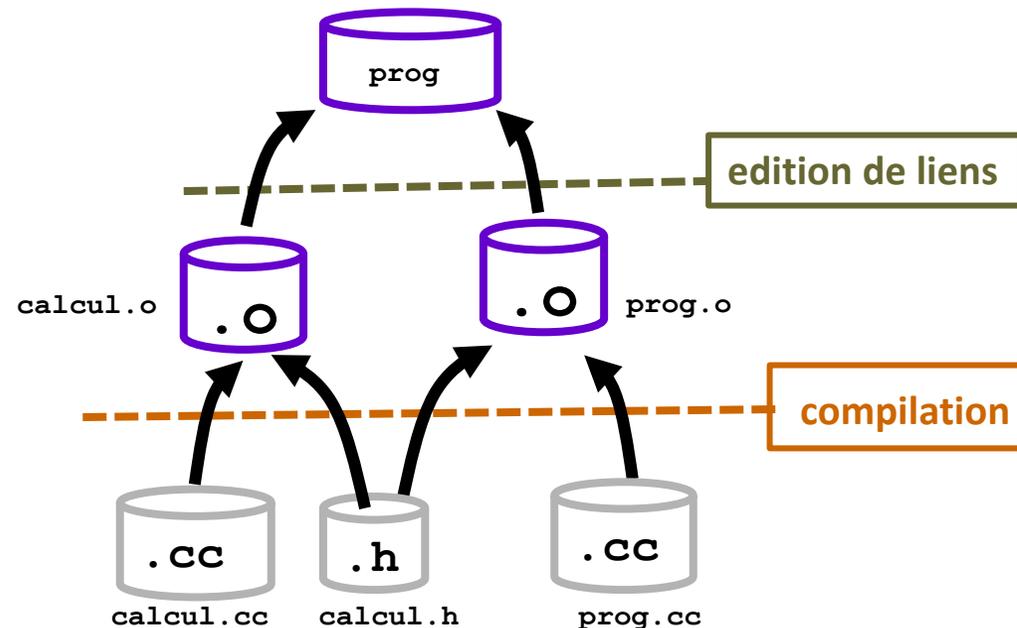
L'architecture logicielle est un outil d'analyse et de conception au moment de la phase **d'analyse** du projet.

L'élément de base est le **module**



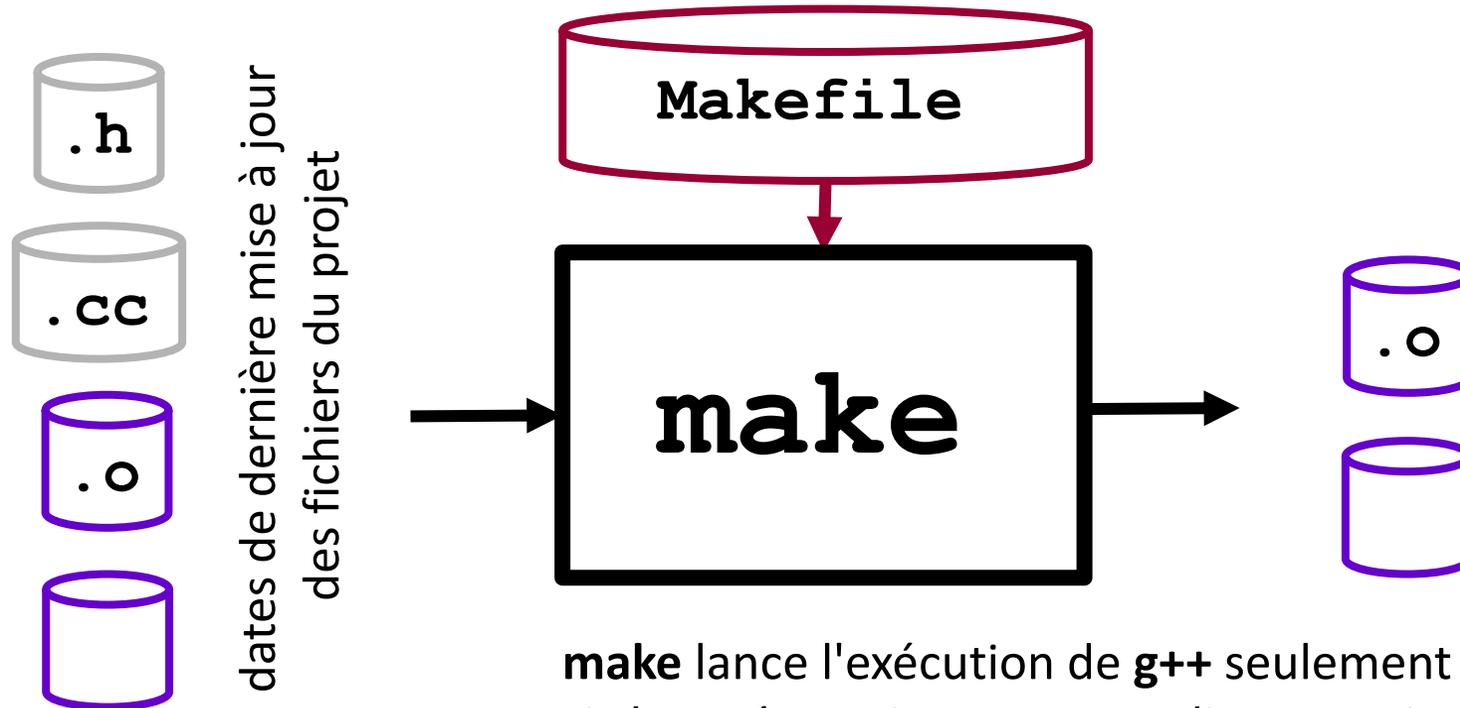
On peut construire le graphe des dépendances de la commande **make** à partir de l'architecture logicielle. Ce graphe est un outil de la phase de **codage et de test** du projet.

L'élément de base est le **fichier**



# La commande **make** et le fichier **Makefile**

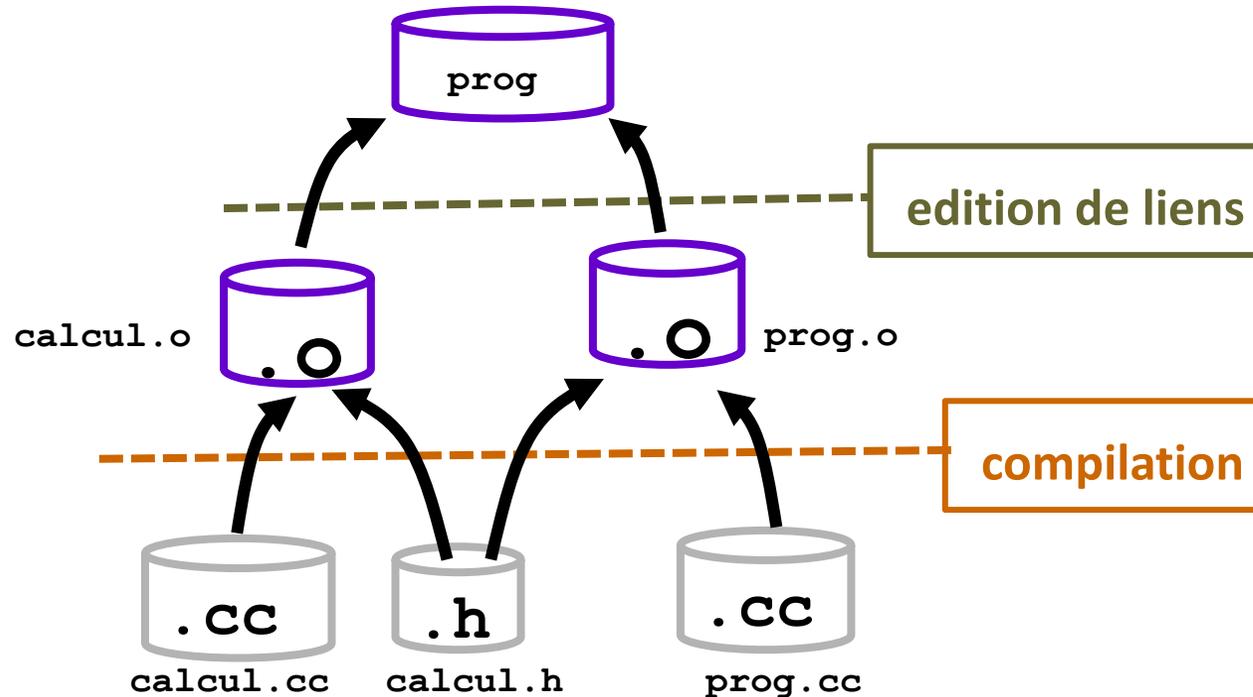
Makefile est un fichier texte contenant des règles qui décrivent les dépendances entre fichiers et les commandes à exécuter si **make** détecte une incohérence dans les dates de dernière mise à jour



**make** lance l'exécution de **g++** seulement si c'est nécessaire pour actualiser certains fichiers objet (**.o**) et/ou l'exécutable

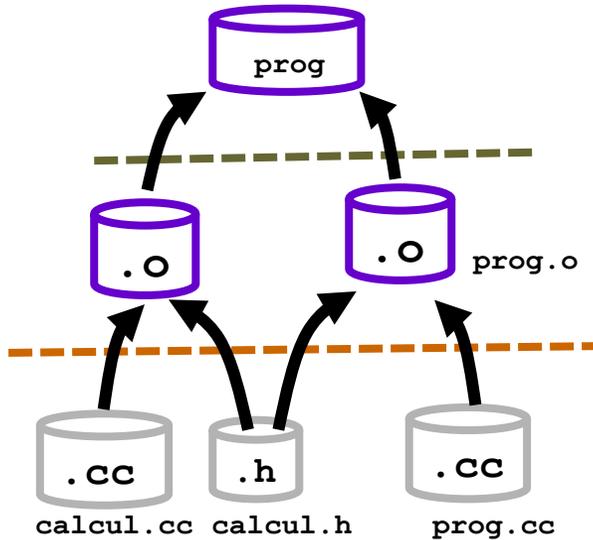
# Exemple de Graphe des dépendances d'un projet

**Construction:** faire apparaître sur 3 couches les fichiers .c, .h, .o, bibliothèque(s) supplémentaire(s), exécutable. La direction des flèches reflète le flot des input / output des opérations concernées (compilation, édition de liens).



Remarque: l'orientation de ce graphe n'est pas standardisée (cf Série 1)

# Que contient le fichier **Makefile** ?



Graphe des dépendances

Essentiellement des **variables** et des **règles**.

Une dépendance et sa commande associée sont décrites avec une **règle** :

**cible**: dépendance (s)  
commande (s)

```
prog: prog.o calcul.o  
    g++ prog.o calcul.o -o prog  
  
calcul.o: calcul.cc calcul.h  
    g++ -c calcul.cc  
  
prog.o: prog.cc calcul.h  
    g++ -c prog.cc
```

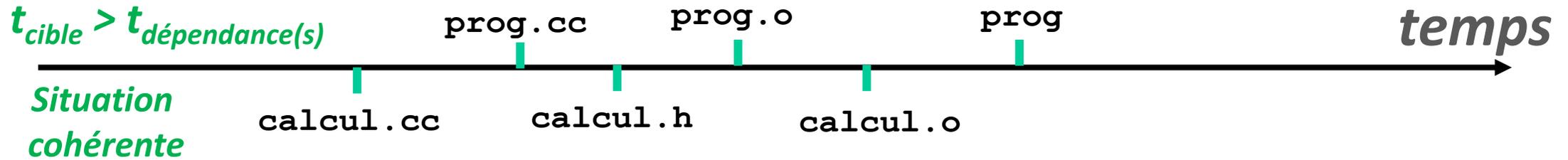
la commande **make**  
examine la **1<sup>ère</sup> règle**

ou celle qui est indiquée sur la ligne de commande (ex: **make calcul.o**) .

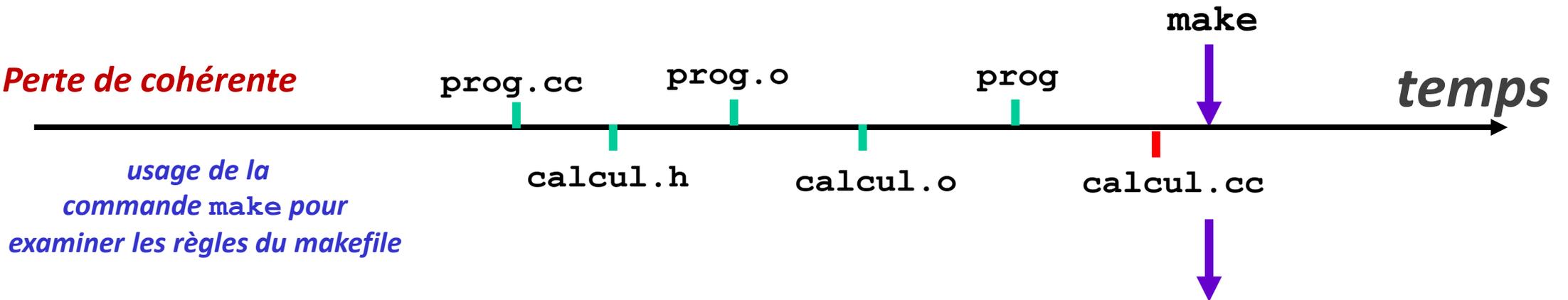
si une **dépendance** est plus récente que la **cible**

alors la **commande** est exécutée

Illustration d'un exemple sur l'axe temporel montrant la dernière mise à jour de tous les fichiers



Perte de cohérente



make examine la première cible **prog**

make s'appelle récursivement

Sur les dépendances de la première cible

make **prog.o** -> suite slide suivant

c'est-à-dire  
prog.o et  
calcul.o

## Exemple d'exécution de **make** dans le cas du slide précédent (1)

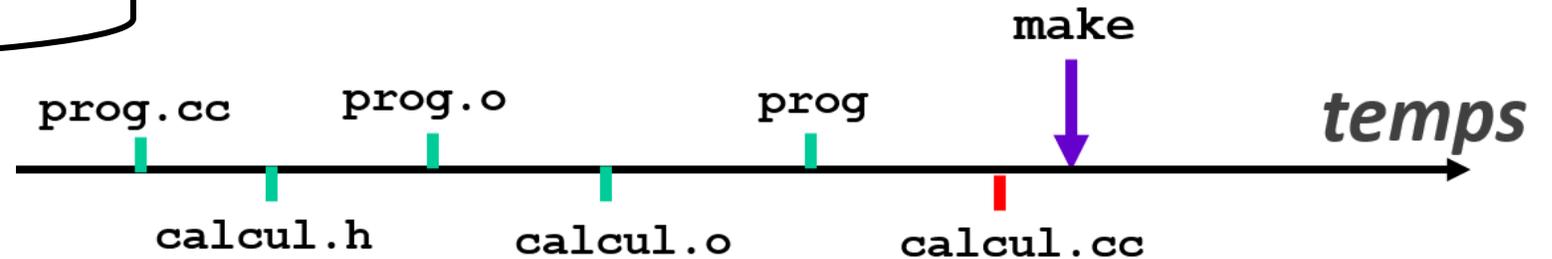
```
prog: prog.o calcul.o
      g++ prog.o calcul.o -o prog

prog.o: prog.cc calcul.h
      g++ -c prog.cc

calcul.o: calcul.cc calcul.h
      g++ -c calcul.cc
```

L'ordre des **règles** n'est pas important car **make** examine récursivement les cibles impliquées dans une règle.

Exemple du slide précédent: on modifie seulement **calcul.cc** et on lance **make** :



- *la première* cible **prog** possède 2 dépendances: **prog.o** **calcul.o**

- la première dépendance est **prog.o**; comme c'est aussi la cible **prog.o**, **make** examine d'abord sa règle: elle possède 2 dépendances: **prog.c** et **calcul.h** qui ne sont pas des cibles (pas de règle). De plus la cible **prog.o** est plus récente que ses dépendances donc rien n'est fait.

- suite slide suivant

## Exemple d'exécution de **make** dans le cas du slide précédent (2)

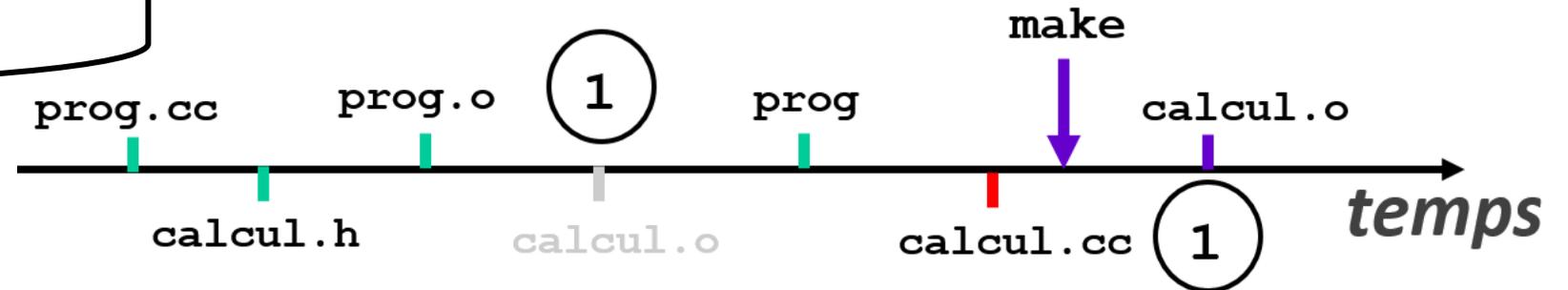
```
prog: prog.o calcul.o
      g++ prog.o calcul.o -o prog

prog.o: prog.cc calcul.h
      g++ -c prog.cc

calcul.o: calcul.cc calcul.h
      g++ -c calcul.cc
```

L'ordre des **règles** n'est pas important car **make** examine récursivement les cibles impliquées dans une règle.

SUITE du slide précédent



- la 2ième dépendance est **calcul.o** ; elle est aussi une cible **calcul.o**, donc **make** examine ensuite sa règle: elle possède 2 dépendances **calcul.c** et **calcul.h** qui ne sont pas des cibles (pas de règle). MAIS cette fois la cible **calcul.o** est plus ancienne qu'une de ses dépendances,

DONC **g++ -c calcul.cc** permet de mettre à jour **calcul.o**

## Exemple d'exécution de **make** dans le cas du slide précédent (3)

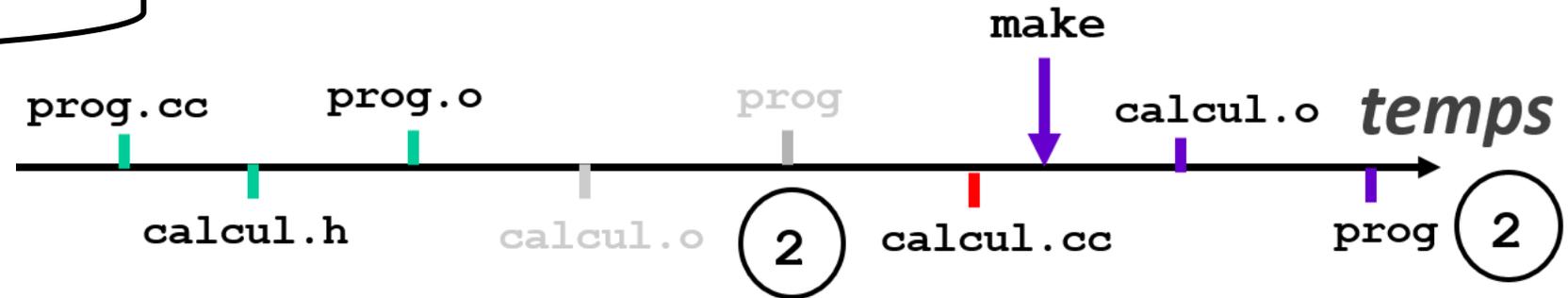
```
prog: prog.o calcul.o
    g++ prog.o calcul.o -o prog

prog.o: prog.cc calcul.h
    g++ -c prog.cc

calcul.o: calcul.cc calcul.h
    g++ -c calcul.cc
```

L'ordre des **règles** n'est pas important car **make** examine récursivement les cibles impliquées dans une règle.

SUITE du slide précédent



- maintenant **make** constate que **calcul.o** est plus récente que **prog**

DONC **g++ prog.o calcul.o -o prog** est exécutée

# Résumé

- **Principes justifiant un module**: séparation des tâches, abstraction, ré-utilisation, et rassembler des dépendances.
- Un module est constitué d'une **interface (.h)** et d'une **implémentation (.cc)**.
- **L'interface (.h)** documente les prototypes des fonctions pouvant être appelées dans d'autres modules. Elle décrit seulement le but de ces fonctions (*what they do*) mais pas le comment (*how they do it*) car c'est la responsabilité de **l'implémentation (.cc)**
- Un module doit inclure **l'interface** d'un autre module s'il veut appeler des fonctions de cet autre module.
- **l'architecture logicielle** résume les dépendances : c'est un outil d'analyse
- la commande **make** permet de maîtriser les dépendances