Conception de pré-assertions

Il est important de munir ses fonctions de pré-assertions les plus précises et complètes possibles. Quelques règles :

- la condition testée ne doit dépendre que des arguments d'une fonction (elle ne dépend pas de données apprises à l'exécution) ;
- la condition testée doit la plus atomique possible.

```
1  /* Correct. */
2  assert(nb >= 0);
3  assert(nb <= 1024);
```

```
1  /* Incorrect. */
2  assert(0 <= nb <= 1024);
```

- Pour les concevoir, il faut imaginer les pires cas possibles à capturer qui peuvent survenir (p.ex., pointeurs nuls, quantités négatives, chaînes de caractères vides, *etc.*).
- Elles sont situées juste après les déclarations de variables dans le corps d'une fonction.

Redondance nécessaire des pré-assertions

Considérons les fonctions

```
1  int div(int a, int b) {
2      assert(b != 0);
3      return a / b;
4  }
```

```
1  int somme_div(int a, int b) {
2      return div(a, b)
3          + div(b, a + 1);
4  }
```

Raisonnement : il n'y a pas de pré-assertion dans `somme_div` mais cela n'est pas grave car les cas problématiques sont capturés par `div` qui contient une pré-assertion.

Ceci est une **fausse bonne idée** : chaque fonction doit faire ses propres pré-assertions. Toute erreur doit être capturée le plus en amont possible.

La bonne version de `somme_div` consiste à capturer les mauvaises valeurs possibles de ses arguments de la manière suivante :

```
1  int somme_div(int a, int b) {
2      assert(b != 0);
3      assert(a + 1 != 0);
4      return div(a, b)
5          + div(b, a + 1);
6  }
```

Exemple 2 de fonction avec pré-assertion

La fonction `nb_min_maj`, à code d'erreur, doit être pourvue de pré-assertions :

```
1  int nb_min_maj(char *chaine, int *res_min, int *res_maj)
2      int i;
3
4      assert(chaine != NULL);
5      assert(res_min != NULL);
6      assert(res_maj != NULL);
7
8      /* Suite inchangee. */
9  }
```

On observe que le mécanisme de gestion d'erreurs par valeur de retour teste des comportement incohérents complexes qui se déroulent à l'exécution, tandis que le mécanisme de pré-assertion permet de capturer des erreurs évidentes.

Les pré-assertions pour corriger un programme

Considérons le programme

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <assert.h>
3
4  int div(int a, int b) {
5      assert(b != 0);
6
7      return a / b;
8  }
9
10 int main() {
11     int a;
12
13     a = div(17, 0);
14     printf("%d\n", a);
15
16     return 0;
17 }
```

La compilation `gcc -ansi -pedantic -Wall Prgm.c` donne l'exécutable `a.out`.

Son exécution `./a.out` est interrompue en l.5. Elle produit la réponse

```
a.out: Prgm.c:5: div: Assertion
‘b != 0’ failed.
Aborted (core dumped)
```

On récolte la précieuse information sur le numéro de ligne de la pré-assertion non satisfaite qui produit l'arrêt précipité de l'exécution.

Plan

Plan

Modules

Modulariser un projet signifie le découper de manière cohérente en plusieurs parties plus petites.

Un module est un ensemble de données et d'instructions qui permettent de gérer une partie bien ciblée d'un projet.

Il existe deux manières de concevoir un projet :

1. programmer dans un unique fichier contenant tout le code nécessaire ;
2. programmer dans divers fichiers qui fractionnent le projet en plusieurs sous-parties.

À partir de maintenant, on adoptera la 2^{e} manière.

Il reste à savoir comment **découper un projet de manière cohérente** et comment **utiliser les outils offerts par le langage** pour gérer ce découpage.

Avantages offerts par la modularité

La modularité, illustration du principe stratégique universel

« *diviser pour régner* »,

offre les avantages suivants.

1. La **lisibilité** du code est accrue, ainsi que la facilité de son **entretien**.
2. Permet de **regrouper** les types et les fonctions selon leurs objectifs.
3. Il devient possible de **réutiliser** dans un nouveau projet un module créé dans un projet antérieur.
4. Permet de **cacher des fonctions** (notion de fonctions privées).
5. Facilite le **travail par équipe**.
6. Permet de rendre la **compilation localisée** (compilation module par module).

Plan

Spécification d'un projet

Considérons le projet spécifié de la manière suivante :

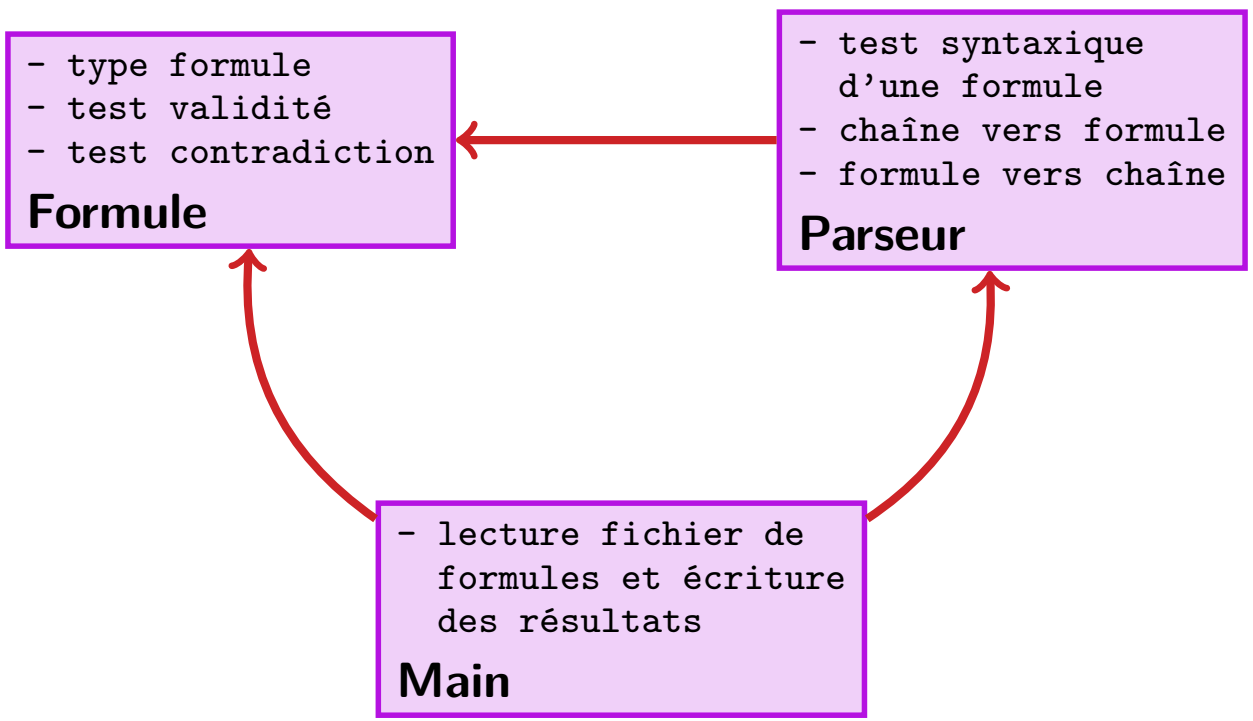
- le but est de fournir un programme qui permet de décider si des formules logiques sans quantificateur sont valides ou contradictoires.
- La syntaxe d'une formule est la suivante : on dispose du jeu de formules atomiques a, b, ..., z et on écrit les formules de manière infixe et totalement parenthésée. Par exemple, la formule $(A \to (B \vee \neg C)) \wedge A$ s'écrit `((a IMP (b OU (NON c))) ET a)`.
- L'interaction utilisateur/programme se fait de la manière suivante :
  1. l'utilisateur fournit un fichier en entrée contenant une formule par ligne ;
  2. le programme produit un fichier en sortie contenant, ligne par ligne, la réponse `erreur` si la formule correspondante est syntaxiquement erronée ou bien `valide`, `contradictoire` ou `rien` selon la nature de la formule.

Découpage du projet

Il y a deux parties bien distinctes dans ce projet :

1. la **représentation des formules** et le test de validité/contradiction ;
2. la **gestion syntaxique des formules** (lecture/écriture d'une formule dans un fichier).

Ces deux parties dictent le découpage suivant :



Toute flèche $A \longrightarrow B$ signifie que le module A dépend du module B.

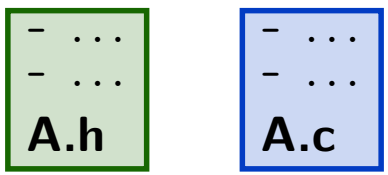
Plan

Composition d'un module

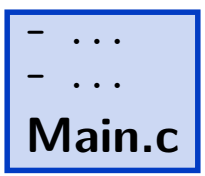
Un module est composé de deux fichiers :

1. un fichier d'en-tête d'extension `.h` ;
2. un fichier source d'extension `.c`.

Les noms de ces deux fichiers sont les mêmes (extension mise à part).



Seul le module principal est constitué d'un seul fichier source `Main.c`.



Par exemple, le projet précédent est constitué des fichiers `Formule.h`, `Formule.c`, `Parseur.h`, `Parseur.c` et `Main.c`.

Fichiers d'en-tête

Un fichier d'en-tête contient des déclarations de types et de fonctions (prototypes).

Les prototypes qui y figurent sont ceux des fonctions que l'on souhaite rendre visibles (utilisables) par d'autres modules.

Par exemple, un en-tête possible du module `Formule` est

```
/* Formule.h */

typedef struct {
...
} Form;

int est_valide(Form *f);
int est_contra(Form *f);
```

Fichiers d'en-tête

Les fichiers d'en-tête sont ceux que le programmeur regarde en premier pour connaître le rôle d'un type ou d'une fonction.

De ce fait, c'est dans les fichiers d'en-tête que l'**on commente chaque type et fonction** pour préciser leur rôle.

Par exemple, l'en-tête du module `Formule` devrait être de la forme

```
/* Formule.h */

/* Representation des formules logiques sans quantificateur. */
typedef struct {
...
} Form;

/* Renvoie '1' si la formule pointee par 'f' est valide et
 * '0' sinon. */
int est_valide(Form *f);
...
```

Fichiers source

Un fichier source contient une implantation de l'en-tête du module auquel il appartient.

Il contient de ce fait les définitions de fonctions déclarées dans l'en-tête.

Par exemple, une implantation possible du module `Formule` est

```
/* Formule.c */

...
int est_valide(Form *f) {
    int i, j;
    assert(f != NULL);
    ...
}

int est_contra(Form *f) {
    ...
}
```

Fichiers source

Il faut impérativement que toutes les fonctions déclarées dans le fichier d'en-tête du module soient définies dans le fichier source correspondant.

Il est en revanche possible de définir dans un fichier source des fonctions qui ne sont pas déclarées dans l'en-tête correspondant.

Une fonction définie dans un fichier source mais pas dans l'en-tête correspondant s'appelle fonction privée.

L'intérêt des fonctions privées est d'être des **fonctions outils** dont le champ d'application est local au module dans lequel elles sont définies. On ne souhaite pas les rendre utilisables en dehors.

Fichiers source et fonctions privées

Une fonction privée se définit avec le mot clé `static` (à ne pas confondre avec le `static` pour la déclaration de variables).

Par exemple, on peut avoir besoin d'une fonction privée appartenant au module `Formule` qui permet de compter le nombre d'occurrences d'un atome dans une formule. On la définit alors dans `Formule.c` par

```
1  static int nb_occ(Form *f, char atome) {
2      ...
3      assert(f != NULL);
4      assert('a' <= atome && atome <= 'z');
5      ...
6  }
```

La portée lexicale de cette fonction s'étend à tout ce qui suit sa définition dans le fichier `Formule.c`. Elle est invisible ailleurs.

Fichiers source et fonctions privées

C'est un contresens que de définir une fonction dans un fichier source sans le mot clé `static` et sans l'avoir déclarée dans le fichier d'en-tête.

C'est aussi un contresens que de définir dans un fichier source une fonction déclarée dans le fichier d'en-tête avec `static`.

Ainsi, pour résumer, toute fonction définie dans un fichier source est

1. soit déclarée dans le fichier d'en-tête ;
2. soit non déclarée dans le fichier d'en-tête mais définie par `static`.

Allure d'un projet

Il y a deux manières d'organiser un projet en termes de fichiers et de répertoires :

1. la 1re consiste à regrouper l'ensemble des fichiers d'en-tête et des fichiers sources dans un même répertoire. Il y figure donc un nombre impair de fichiers (le module principal et les paires en-tête/source pour chaque module) ;

2. la 2e consiste à séparer les fichiers du projet en deux répertoires frères, `include` et `src`, le premier contenant les fichiers d'en-tête et l'autre, les fichiers sources et le module principal du projet.

Plan

Inclusion de modules

Pour utiliser un module `Module` dans un fichier `F`, on doit l'y inclure.

On utilise pour cela dans `F` la commande pré-processeur

```
#include "Module.h"
```

Celle-ci sera remplacée par le pré-processeur par le contenu de `Module.h`.

Cette commande peut se trouver

- dans un fichier source pour bénéficier des fonctions définies et des types déclarés par le module ;
- dans un fichier d'en-tête pour bénéficier des types déclarés par le module.

Inclusion de modules

Par exemple, si `A` est un module définissant une fonction `f`, pour utiliser `f` dans un fichier `B.c` situé dans le même répertoire que `A.c` et `A.h`, on écrit

```
/* B.c */

#include "A.h"
...
```

Il est possible d'inclure à la suite plusieurs modules dans un même fichier :

```
/* Fichier.c ou Fichier.h */

#include "A.h"
#include "B.h"
#include "C.h"
...
```

De cette manière, `Fichier.c` ou `Fichier.h` bénéficie de tout ce qui est déclaré et défini dans les modules `A`, `B` et `C`.

Attention : les modules inclus ne doivent pas déclarer/définir des éléments d'un identificateur commun.

Inclusion de modules

Le fichier incluant n'a accès qu'au fichier d'en-tête du module, et donc qu'aux déclarations effectuées.

Le fichier incluant n'a pas besoin de connaître l'implantation du module.

Considérons par exemple le module `Couple` défini par

```c
/* Couple.h */

typedef int Couple[2];

int est_zero(Couple c);
void afficher(Couple c);
```

```c
/* Couple.c */
...
int est_zero(Couple c) {
  return (c[0] == 0) && (c[1]== 0);
}
void afficher(Couple c) {
    printf("(%d, %d)", c[0], c[1]);
}
```

Inclusion de modules

Supposons que l'on ait besoin d'inclure le module `Couple` dans un fichier `Fichier.c`.

Le pré-processeur aura donc l'effet suivant sur `Fichier.c` :

```c
/* Fichier.c avant
 * la passe du
 * pre-processeur */

#include "Couple.h"
...

if (!est_zero(c))
    afficher(c);
...
```

```c
/* Fichier.c apres la passe
 * du pre-processeur */

typedef int Couple[2];
int est_zero(Couple c);
void afficher(Couple c);
...

if (!est_zero(c))
    afficher(c);
...
```

`Fichier.c` a besoin uniquement de connaître les types de retour et les signatures des fonctions qu'il invoque (connus à leur déclaration). Il n'a à ce stade pas besoin de connaître les définitions de ces fonctions.

Création complète d'un module

Pour créer un module `A`, il faut inclure son fichier d'en-tête `A.h` dans son fichier source `A.c`.

```
/* A.h */
...
```

```
/* A.c */

#include "A.h"
...
```

De cette manière,

- d'une part, `A.c` a accès aux types et aux prototypes de fonctions déclarés dans `A.h` ;
- d'autre part, cela permet d'implanter les fonctions déclarées dans `A.h` sans contrainte d'ordre.

Création complète d'un module

Considérons la situation suivante :

```
/* A.h */
...
#include "C.h"
...
```

```
/* A.c */

#include "A.h"
...
```

```
/* B.h */
...
#include "C.h"
...
```

```
/* B.c */

#include "B.h"
...
```

```
/* C.h */
...
int f();
...
```

```
/* C.c */

#include "C.h"
...
```

```
/* D.c */

#include "A.h"
#include "B.h"
...
```

Création complète d'un module

Le pré-processeur transforme ces fichiers en

```
/* A.h */
...
int f();
...
```

```
/* A.c */

/* Copie A.h */
...
```

```
/* B.h */
...
int f();
...
```

```
/* B.c */

/* Copie B.h */
...
```

```
/* C.h */
...
int f();
...
```

```
/* C.c */

/* Copie C.h */
...
```

```
/* D.c */

int f();
int f();
...
```

Problème : le contenu de `C.h` est copié deux fois dans `D.c`. Ceci n'est pas accepté par le compilateur car il y a multiple déclaration d'un même symbole (`f` ici).

Création complète d'un module

La parade consiste à inclure un fichier d'en-tête de manière conditionnelle : on procède à l'inclusion que s'il n'a pas déjà été inclus.

On utilise pour cela les macro-instructions de contrôle de compilation `#ifndef` et `#endif` ainsi que `#define`.

Le schéma général est

```
/* A.h */
#ifndef __A__
#define __A__

    /* Declaration de types */

    /* Declaration de fonctions */

#endif
```

Ainsi, lors d'une inclusion de `A.h`, le pré-processeur vérifie si la macro `__A__` n'existe pas.

- Si elle n'existe pas, alors on la définit (`#define __A__`) et le contenu du module est pris en compte ;
- sinon, cela signifie que le contenu a déjà été pris en compte. Celui-ci n'est pas repris en compte une 2^e fois.

Squelette d'un module

Pour résumer, tous les modules doivent avoir le squelette suivant :

```c
/* A.h */
#ifndef __A__
#define __A__

  /* Inclusions eventuelles
   * de modules */

  /* Definitions eventuelles
   * de macros */

  /* Declarations eventuelles
   * de types */

  /* Declarations eventuelles
   * de fonctions */

#endif
```

```c
/* A.c */
#include "A.h"

/* Inclusions eventuelles
 * de modules */

/* Definitions eventuelles
 * de fonctions privees */

/* Definitions de toutes les
 * fonctions declarees dans
 * le fichier d'en-tete */
```

Exemple du module Parseur

```c
/* Parseur.h */
#ifndef __PARSEUR__
#define __PARSEUR__

#include "Formule.h"

    /* Convertit la chaine de caracteres `ch` sensee representer une formule
     * en une variable de type `Form`, qui va etre ecrite dans `f`.
     * Renvoie `1` si `ch` represente bien une formule et `0` sinon. */
    int chaine_vers_form(Form *f, char *ch);

#endif
```

```c
/* Parseur.c */
#include "Parseur.h"

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <assert.h>

int chaine_vers_form(Form *f, char *ch) {
    ...
    assert(f != NULL);
    ...
}
```

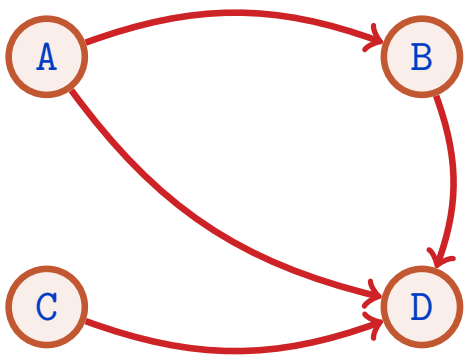
Plan

Graphes d'inclusions

On rappelle qu'un module `A` dépend d'un module `B` si le **fichier d'en-tête** de `A` inclut `B`.

Pour visualiser l'allure d'un projet, on trace son graphe d'inclusions. On représente pour cela chacun des modules qui le composent dans des cercles (**sommets**) et on trace des flèches (**arcs**) de `A` vers `B` pour tout module `A` dépendant de `B`.

Par exemple, le graphe d'inclusions



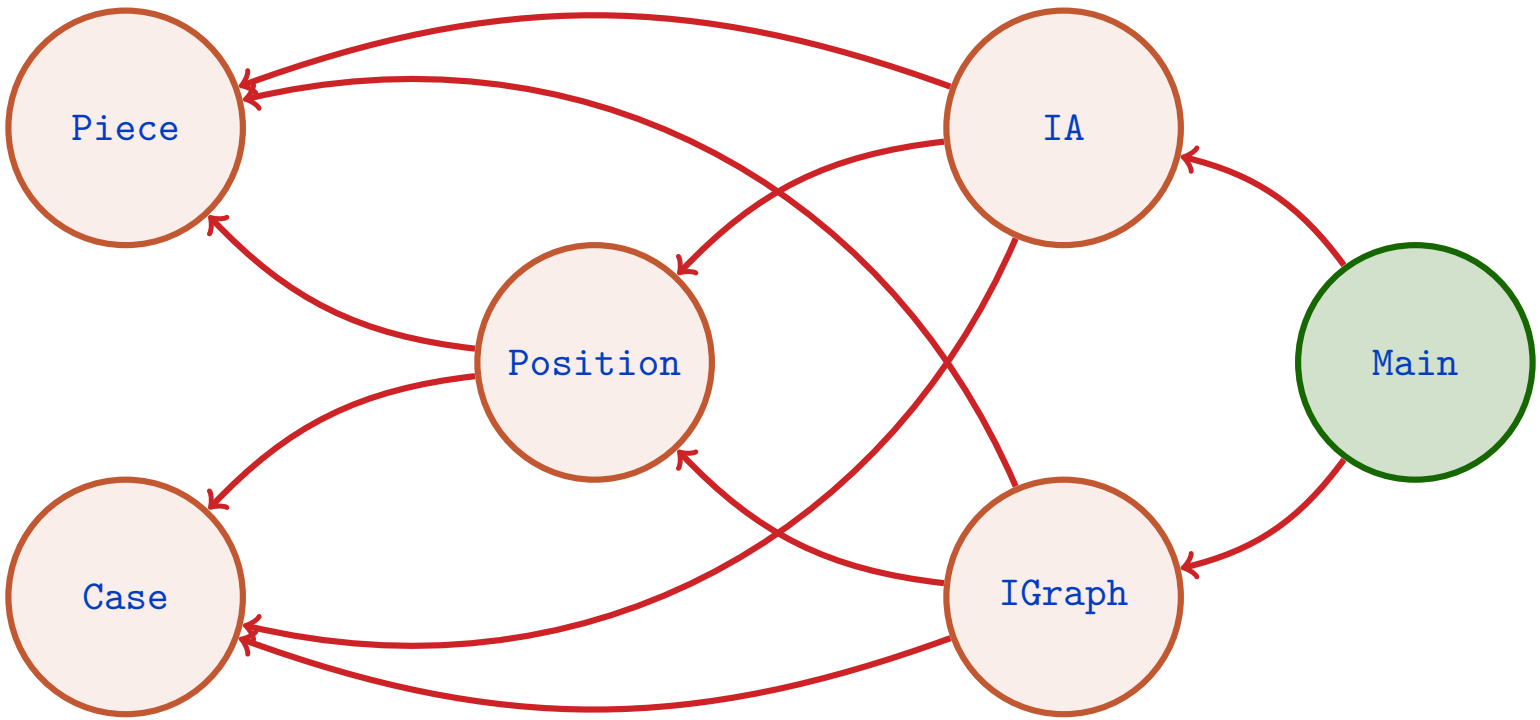
signifie que

- `A.h` inclut `B.h` et `D.h` ;
- `B.h` inclut `D.h` ;
- `C.h` inclut `D.h` ;
- `D.h` n'inclut rien.

On ne mentionne pas dans les graphes d'inclusions les inclusions aux fichiers d'en-tête standards (`stdio.h`, `stdlib.h`, `assert.h`, *etc.*).

Graphe d'inclusions et fichier principal

Le graphe d'inclusions d'un projet consistant à faire jouer l'ordinateur aux échecs contre un humain peut être le suivant :

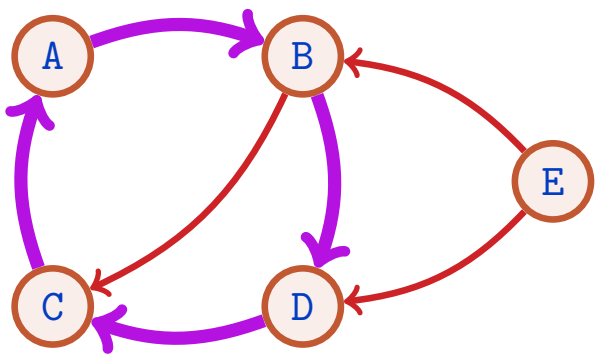


Tout projet contient un fichier source `Main.c`, le fichier principal du projet, où figure la fonction `main` (le **point d'entrée** de l'exécution du programme). Celui-ci apparaît dans le graphe d'inclusions.

Inclusions circulaires

Les graphes d'inclusions permettent d'avoir une vision globale de l'architecture d'un projet.

Ils permettent aussi de mettre en évidence des problèmes de conception et notamment les problèmes d'inclusion circulaire. Ce type de problème s'observe par la présence d'un **cycle** dans le graphe d'inclusions :



Règle importante : il ne doit jamais y avoir de cycle dans le graphe d'inclusions d'un projet. S'il y a un cycle, c'est que le projet est mal découpé en modules.

Limiter les inclusions

La plupart des inclusions circulaires peuvent être évitées en réduisant au maximum les inclusions de modules dans les fichiers d'en-tête en les faisant plutôt si possible dans les fichiers source.

Par exemple, supposons que l'on dispose d'un module `Tri` qui permet de trier des tableaux génériques (nous aborderons plus loin ce concept de généricité). Il est de la forme :

```c
/* Tri.h */
#ifndef __TRI__
#define __TRI__

    void trier_tab(void **t, int n,
        int (*est_inf)(void *, void
             *));
    ...
#endif
```

```c
/* Tri.c */
#include "Tri.h"
...
void trier_tab(void **t, int n,
    int (*est_inf)(void *, void *)) {
    ...
}
...
```

Limiter les inclusions

On souhaite maintenant écrire un module `TabInt` pour gérer des tableaux d'entiers.

On n'écrira pas

```c
/* TabInt.h */
#ifndef __TAB_INT__
#define __TAB_INT__

#include "Tri.h"

    typedef struct {int n; int *tab;} TabInt;
    int trier_tab_int(TabInt *t);
#endif
```

```c
/* TabInt.c */
#include "TabInt.h"

int trier_tab_int(TabInt *t)
      {
    /* Util. de `trier_tab` */
}
```

mais plutôt

```c
/* TabInt.h */
#ifndef __TAB_INT__
#define __TAB_INT__

    typedef struct {int n; int *tab;} TabInt;
    int trier_tab_int(TabInt *t);
#endif
```

```c
/* TabInt.c */
#include "TabInt.h"

#include "Tri.h"

int trier_tab_int(TabInt *t)
      {
    /* Util. de `trier_tab` */
}
```