# Écriture de Makefile simples — résumé

Le Makefile d'un projet contenant des modules A1, ..., An et un module principal Main est génériquement de la forme

```
1  NOM: Main.o A1.o ... An.o
2      gcc -o NOM Main.o A1.o ... An.o
3
4  Main.o: Main.c EXTRAmain
5      gcc -c Main.c
6
7  A1.o: A1.c A1.h EXTRA1
8      gcc -c A1.c
9
10 ...
11
12 An.o: An.c An.h EXTRAn
13     gcc -c An.c
```

où EXTRAmain est la suite des noms des fichiers .h que Main.c inclut et pour tout $1 \leqslant k \leqslant n$, EXTRAk est la suite des noms des fichiers .h dont le module Ak dépend (de manière étendue).

# Plan

# Variables dans les `Makefile`

Il est possible de définir des variables dans un `Makefile` par

```
ID=VAL
```

Ceci définit une variable identifiée par `ID`. Sa valeur est la **chaîne de caractères** `VAL`.

On accède à la valeur d'une variable identifiée par `ID` par

```
$(ID)
```

Ceci substitue à l'occurrence de `$(ID)` la chaîne de caractères qui lui a été attribuée lors de sa définition.

# Variables dans les `Makefile` — exemple

Les variables permettent de factoriser les règles d'un `Makefile` :

```
1  Main: Main.o A.o
2      gcc -o Main Main.o A.o -ansi -pedantic -Wall
3
4  Main.o: Main.c
5      gcc -c Main.c -ansi -pedantic -Wall
6
7  A.o: A.c A.h
8      gcc -c A.c -ansi -pedantic -Wall
```

s'écrit plus simplement par

```
1  CFLAGS=-ansi -pedantic -Wall
2
3  Main: Main.o A.o
4      gcc -o Main Main.o A.o $(CFLAGS)
5
6  Main.o: Main.c
7      gcc -c Main.c $(CFLAGS)
8
9  A.o: A.c A.h
10     gcc -c A.c $(CFLAGS)
```

# Variables dans les `Makefile`

On utilise en général les noms de variable suivants :

- `CFLAGS` pour les options de compilation, p.ex.,

  ```
  CFLAGS=-ansi -pedantic -Wall
  ```

- `LDFLAGS` pour l'inclusion de bibliothèques, p.ex.,

  ```
  LDFLAGS=-lm -lMLV
  ```

- `CC` pour le compilateur utilisé, p.ex.,

  `CC=gcc` ou bien `CC=colorgcc`

- `OPT` pour les option d'optimisation de code

  `OPT=-O1` ou bien `OPT=-O2` ou encore `OPT=-O3`

# Règles courantes

**Observation** : la plupart des règles des `Makefile` sont sous l'une de ces deux formes :

1. ```
   M.o: M.c DEP2... DEPn
   → gcc -c M.c
   ```

2. ```
   EXEC: DEP1 ... DEPn
   → gcc -o EXEC DEP1 ... DEPn
   ```

La 1re forme de règle a pour but de construire le fichier objet d'un module `M`. Dans ce cas, `DEP2`, ..., `DEPn` sont les `.h` dont le module `M` dépend.

La 2e forme de règle a pour but de construire l'exécutable `EXEC` du projet. Les dépendances `DEP1`, ..., `DEPn` sont dans ce cas les fichiers `.o` du projet.

# Variables internes dans les `Makefile`

Il est possible de simplifier l'écriture de ces règles courantes au moyen des variables internes. Il y en a trois principales et deux secondaires :

| Symbole | Ce qu'il désigne |
|---|---|
| `$@` | Nom de la cible |
| `$<` | Nom de la 1re dép. |
| `$^` | Noms de toutes les dép. |
| `$?` | Noms des dép. plus récentes que la cible |
| `$*` | Nom de la cible sans extension |

En les utilisant, les deux règles précédentes deviennent

```
M.o: M.c DEP2 ... DEPn
    gcc -c M.c
```

$\longrightarrow$

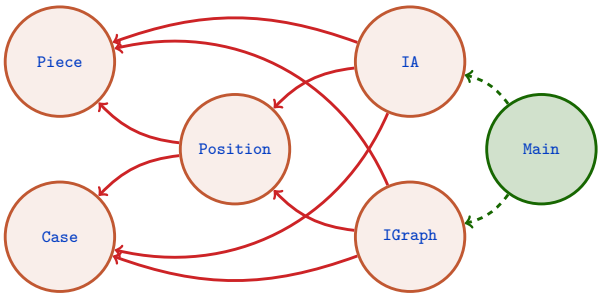
```
M.o: M.c DEP2 ... DEPn
    gcc -c $<
```

```
EXEC: DEP1 ... DEPn
    gcc -o EXEC DEP1 ... DEPn
```

$\longrightarrow$

```
EXEC: DEP1 ... DEPn
    gcc -o $@ $^
```

# Variables internes dans les `Makefile` — exemple




L'utilisation des variables et variables internes permet de simplifier les `Makefile`.

```
1  CC=colorgcc
2  CFLAGS=-ansi -pedantic -Wall
3  OBJ=Main.o Piece.o Case.o
4      Position.o IA.o IGraph.o
5
6  Echecs: $(OBJ)
7      $(CC) -o $@ $^ $(CFLAGS)
8
9
10 Main.o: Main.c IA.h IGraph.h
11     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
12
13 Piece.o: Piece.c Piece.h
14     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
15
```

```
16 Case.o: Case.c Case.h
17     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
18
19 Position.o: Position.c Position.h
20             Piece.h Case.h
21     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
22
23 IA.o: IA.c IA.h
24       Piece.h Case.h Position.h
25     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
26
27 IGraph.o: IGraph.c IGraph.h
28           Piece.h Case.h Position.h
29     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
```

# Règles génériques

Il est possible de simplifier encore d'avantage l'écriture des `Makefile` au moyen des règles génériques.

Ce sont des règles de la forme

```
%.o: %.c
→ COMMANDE
```

où `COMMANDE` est une commande.

Cette syntaxe simule une règle

```
M.o: M.c
→ COMMANDE
```

pour chaque fichier `M.c` du projet.

**Intérêt principal** : l'unique règle

```
%.o: %.c
    gcc -c $<
```

permet de construire chaque fichier objet du projet.

# Règles génériques

**Attention** : la règle

```
%.o: %.c
    gcc -c $<
```

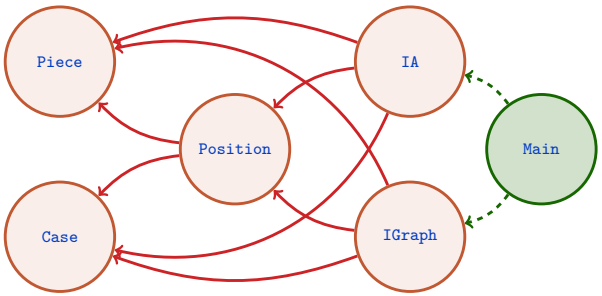
ne prend pas en compte des dépendances des modules aux fichiers `.h` concernés.

Il faut les mentionner explicitement de la manière suivante :

`M.o: M.c M.h DEP1 ... DEPn`

pour chaque module `M` du projet. `DEP1`, ..., `DEPn` sont les `.h` dont le module `M` dépend.

# Règles génériques — exemple




L'utilisation des règles génériques permet de simplifier encore les `Makefile`.

```
1  CC=colorgcc
2  CFLAGS=-ansi -pedantic -Wall
3  OBJ=Main.o Piece.o Case.o
4      Position.o IA.o IGraph.o
5
6  Echecs: $(OBJ)
7      $(CC) -o $@ $^ $(CFLAGS)
8
9
10 Main.o: Main.c IA.h IGraph.h
11
12 Piece.o: Piece.c Piece.h
13
14 Case.o: Case.c Case.h
```

```
15
16 Position.o: Position.c Position.h
17             Piece.h Case.h
18
19 IA.o: IA.c IA.h
20       Piece.h Case.h Position.h
21
22 IGraph.o: IGraph.c IGraph.h
23           Piece.h Case.h Position.h
24
25 %.o: %.c
26     $(CC) -c $< $(CFLAGS)
```

# Règles de nettoyage

**Règle de nettoyage** :

```
1  clean:
2      rm -f *.o
```

Cette règle permet, lorsque l'on saisit la commande `make clean`, de supprimer les fichiers `.o` du répertoire courant.

**Règle de nettoyage total** :

```
1  mrproper: clean
2      rm -f EXEC
```

Cette règle, où `EXEC` est le nom de l'exécutable du projet, permet de supprimer tous les **fichiers regénérables** (c.-à-d. les fichiers `.o` et l'exécutable) à partir des fichiers `.c` et `.h` du projet.

# Règles d'installation / désinstallation

**Règle d'installation** :

```
1  install: EXEC
2      mkdir ../bin
3      mv EXEC ../bin/EXEC
4      make mrproper
```

Cette règle permet de compiler le projet, de placer son exécutable `EXEC` dans un répertoire `bin` et de supprimer les fichiers regénérables.

**Règle de désinstallation** :

```
1  uninstall: mrproper
2      rm -f ../bin/EXEC
3      rm -rf ../bin
```

Cette règle permet de supprimer les fichiers regénérables, l'exécutable du projet, ainsi que le répertoire `bin` le contenant.

# Plan

# Principes généraux

Une bibliothèque est un **regroupement de modules** offrant des fonctionnalités allant vers un même objectif.

# Principes généraux

Une bibliothèque est un **regroupement de modules** offrant des fonctionnalités allant vers un même objectif.

Par exemple, la bibliothèque graphique MLV est un ensemble de plusieurs modules (`MLV_audio`, `MLV_keyboard`, `MLV_image`, *etc.*) réunis dans le but d'offrir des fonctions d'affichage graphique et de gérer les entrées/sorties (son, clavier, souris, *etc.*).

# Principes généraux

Une bibliothèque est un **regroupement de modules** offrant des fonctionnalités allant vers un même objectif.

Par exemple, la bibliothèque graphique MLV est un ensemble de plusieurs modules (`MLV_audio`, `MLV_keyboard`, `MLV_image`, *etc.*) réunis dans le but d'offrir des fonctions d'affichage graphique et de gérer les entrées/sorties (son, clavier, souris, *etc.*).

L'intérêt des bibliothèques est double :

1. il suffit de réaliser une inclusion d'**un seul en-tête** pour bénéficier des fonctionnalités d'une bibliothèque, plutôt que des inclusions de plusieurs en-têtes sans être sûr du fichier précis à inclure ;

# Principes généraux

Une bibliothèque est un **regroupement de modules** offrant des fonctionnalités allant vers un même objectif.

Par exemple, la bibliothèque graphique MLV est un ensemble de plusieurs modules (`MLV_audio`, `MLV_keyboard`, `MLV_image`, *etc.*) réunis dans le but d'offrir des fonctions d'affichage graphique et de gérer les entrées/sorties (son, clavier, souris, *etc.*).

L'intérêt des bibliothèques est double :

1. il suffit de réaliser une inclusion d'**un seul en-tête** pour bénéficier des fonctionnalités d'une bibliothèque, plutôt que des inclusions de plusieurs en-têtes sans être sûr du fichier précis à inclure ;
2. sous réserve de savoir comment créer des bibliothèques, il est possible de **partager et réutiliser** son propre code entre plusieurs de ses projets, sans avoir à le recompiler.

# Bibliothèques statiques

Une bibliothèque statique est un fichier d'extension `.a`.

# Bibliothèques statiques

Une bibliothèque statique est un fichier d'extension `.a`.

Lors de son utilisation, son code est inclus dans l'exécutable pendant l'édition des liens.

# Bibliothèques statiques

Une bibliothèque statique est un fichier d'extension `.a`.

Lors de son utilisation, son code est inclus dans l'exécutable pendant l'édition des liens.

- **Avantage** : tout projet qui utilise une bibliothèque statique peut être exécuté sur une machine où la bibliothèque n'est pas installée.

# Bibliothèques statiques

Une bibliothèque statique est un fichier d'extension `.a`.

Lors de son utilisation, son code est inclus dans l'exécutable pendant l'édition des liens.

- **Avantage** : tout projet qui utilise une bibliothèque statique peut être exécuté sur une machine où la bibliothèque n'est pas installée.
- **Inconvénient** : l'exécutable est plus volumineux.

# Bibliothèques dynamiques

Une bibliothèque dynamique est un fichier d'extension `.so`.

# Bibliothèques dynamiques

Une bibliothèque dynamique est un fichier d'extension `.so`.

Lors de son utilisation, son code n'est pas inclus dans l'exécutable. C'est lors de l'exécution que les symboles provenant de la bibliothèque sont résolus au moyen de l'éditeur de liens dynamique.

# Bibliothèques dynamiques

Une bibliothèque dynamique est un fichier d'extension `.so`.

Lors de son utilisation, son code n'est pas inclus dans l'exécutable. C'est lors de l'exécution que les symboles provenant de la bibliothèque sont résolus au moyen de l'éditeur de liens dynamique.

- **Avantages** : l'exécutable est moins volumineux. Il n'y a pas de duplication du code de la bibliothèque sur un même système si plusieurs projets l'utilisent.

# Bibliothèques dynamiques

Une bibliothèque dynamique est un fichier d'extension `.so`.

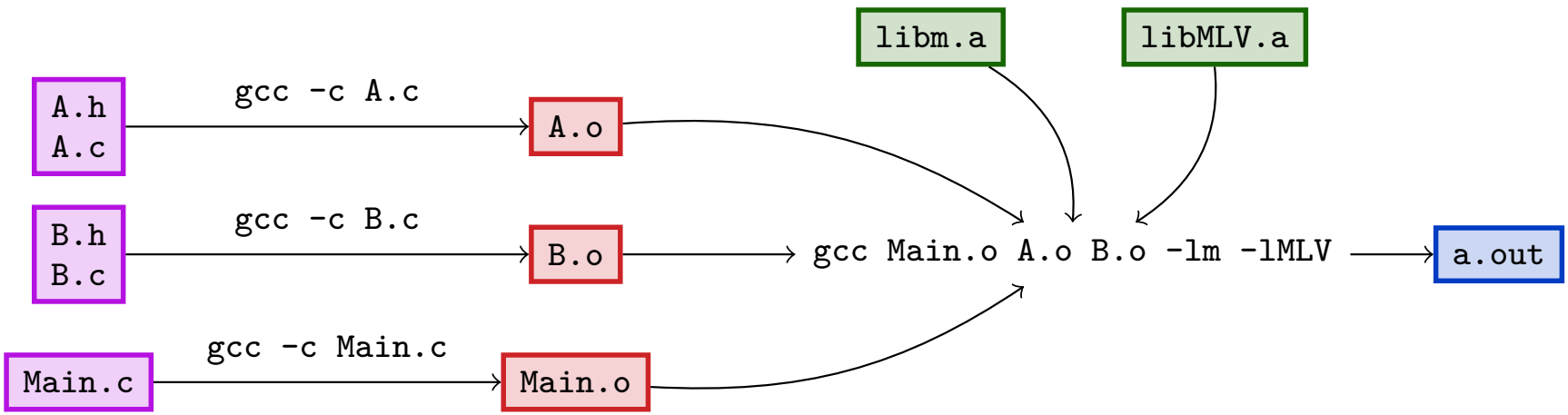
Lors de son utilisation, son code n'est pas inclus dans l'exécutable. C'est lors de l'exécution que les symboles provenant de la bibliothèque sont résolus au moyen de l'éditeur de liens dynamique.

- **Avantages** : l'exécutable est moins volumineux. Il n'y a pas de duplication du code de la bibliothèque sur un même système si plusieurs projets l'utilisent.
- **Inconvénient** : tout projet qui utilise une bibliothèque dynamique ne peut être exécuté que sur un système où cette dernière est installée.

# Compilation d'un projet utilisant des bibliothèques

On suppose que l'on travaille sur un projet constitué de deux modules `A` et `B` et d'un fichier principal `Main.c`. Ce projet utilise deux bibliothèques statiques : `libm.a` et `libMLV.a`.

La compilation de ce projet se réalise de manière habituelle. La différence porte sur l'étape d'**édition des liens** dans laquelle il est nécessaire de **signaler les bibliothèques utilisées**.

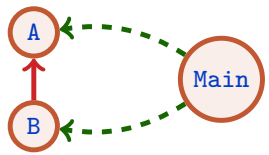



Pour utiliser des bibliothèques qui ne sont pas situées dans le répertoire standard des bibliothèques, on précisera leur chemin `chem` lors de l'édition des liens au moyen de l'option `-Lchem`.

# Compilation d'un projet utilisant des bibliothèques

Le nom d'une bibliothèque commence par `lib`. On signale l'utilisation d'une bibliothèque à l'éditeur de liens par `-lNOM` où `libNOM` est le nom de la bibliothèque.

En supposant que le graphe d'inclusions (étendues) du projet précédent est celui ci-contre, un `Makefile` possible est




```
1  CC=colorgcc
2  CFLAGS=-ansi -pedantic -Wall
3  LDFLAGS=-lm -lMLV
4  OBJ=Main.o A.o B.o
5
6  Projet: $(OBJ)
7      $(CC) -o $@ $^ $(CFLAGS) $(LDFLAGS)
8
9  Main.o: Main.c A.h B.h
10
11 A.o: A.c A.h
12
13 B.o: B.c B.h A.h
14
15 %.o: %.c
16     $(CC) -c $^ $(CFLAGS)
17
18 clean:
19     rm -f *.o
20
21 mrproper: clean
22     rm -f Projet
23
24 install: Projet
25     mkdir ../bin
26     mv Projet ../bin/Projet
27     make mrproper
28
29 uninstall: mrproper
30     rm -f ../bin/Projet
31     rm -rf ../bin
```

# La bibliothèque standard

La bibliothèque standard `libc.a` (`libc.so`) regroupe les vingt-quatre modules

| | | | |
|---|---|---|---|
| `assert`, | `complex`, | `ctype`, | `errno`, |
| `fenv`, | `float`, | `inttypes`, | `iso646`, |
| `limits`, | `locale`, | `math`, | `setjmp`, |
| `signal`, | `stdarg`, | `stdbool`, | `stddef`, |
| `stdint`, | `stdio`, | `stdlib`, | `string`, |
| `tgmath`, | `time`, | `wchar`, | `wctype`. |

Cette bibliothèque est **liée implicitement** lors de toute édition des liens.

Il est donc possible d'utiliser les modules de la bibliothèque standard simplement en les incluant (`#include <NOM.h>`), sans avoir à utiliser l'option `-lc`.

# Création de bibliothèques statiques

Pour créer une bibliothèque statique `X`, on suit les étapes suivantes :

1. **écriture des modules** `M1`, ..., `Mn` qui vont constituer la bibliothèque ;
2. **compilation des modules** et création des fichiers objets `M1.o`, ..., `Mn.o` ;
3. **création de l'archive** `libX.a` par

   ```
   ar r libX.a M1.o ... Mn.o
   ```

4. **génération de l'index** de la bibliothèque par

   ```
   ranlib libX.a
   ```

5. (étape facultative) **écriture d'un fichier d'en-tête global**

```
/* X.h */
#ifndef __X__
#define __X__

#include "M1.h"
...
#include "Mn.h"

#endif
```

# Création de bibliothèques statiques — exemple

On suppose que l'on a créé trois modules :

1. `Liste` pour la représentation des listes chaînées ;
2. `Arbre` pour la représentation des arbres binaires de recherche ;
3. `Tri` pour l'implantation d'algorithmes de tris de tableaux.

On souhaite regrouper ces modules en une bibliothèque nommée `algo`.

Celle-ci sera constituée de deux fichiers ;

1. `libalgo.a`, l'implantation de la bibliothèque ;
2. `Algo.h`, l'en-tête de la bibliothèque.

# Création de bibliothèques statiques — exemple

Pour créer de la bibliothèque `algo`, on saisit les commandes

```
gcc -c Liste.c ; gcc -c Arbre.c ; gcc -c Tri.c
ar r libalgo.a Liste.o Arbre.o Tri.o
ranlib libalgo.a
```

et on écrit l'en-tête global

```
/* Algo.h */
#ifndef __ALGO__
#define __ALGO__

#include "Liste.h"
#include "Arbre.h"
#include "Tri.h"

#endif
```

Pour utiliser la bibliothèque `algo` dans un fichier `F` d'un projet `P`, il faut inclure dans `F` son en-tête, réaliser l'édition des liens de `P` avec l'option `-lalgo` et indiquer son chemin `chem` avec l'option `-Lchem`.

# Index

Il est possible de consulter l'index d'une bibliothèque statique LIB par la commande

```
nm -s libLIB.a
```

```c
/* A.h */
#ifndef __A__
#define __A__
    char h(int a);
#endif
```

```c
/* A.c */
#include "A.h"
char h(int a) {
    return a % 256;
}
```

```c
/* B.h */
#ifndef __B__
#define __B__
    typedef int S;

    int f(S s);
    char g(int a);
#endif
```

```c
/* B.c */
#include "B.h"
int f(S s) {
    return s;
}
char g(int a) {
    return a % 64;
}
```

**Création** :

```
gcc -c A.c ; gcc -c B.c
ar r libAB.a A.o B.o
ranlib libAB.a
```

**Affichage** :

```
nm -s libAB.a
```

```
Indexe de l'archive:
h in A.o
f in B.o
g in B.o

A.o:
0000000000000000 T h

B.o:
0000000000000000 T f
000000000000000c T g
```

# Résumé de l'axe 1

Nous avons étudié plusieurs outils et posé des conventions pour le développement de projets.

1. Au niveau de la présentation du code :
   - indentation ;
   - choix des identificateurs ;
   - documentation.
2. Au niveau de l'écriture de fonctions :
   - pré-assertions ;
   - mécanismes de gestion d'erreurs.
3. Au niveau de la conception de projets :
   - analyse d'une spécification ;
   - découpage en modules ;
   - compilation séparée.

Tout ce qui a été étudié dans cet axe est à appliquer dans la pratique.

# **Axe 2** : comprendre les mécanismes de base

# Plan

# Plan

# La mémoire

Lors de l'exécution d'un programme, une portion (de taille variable) de la mémoire lui est dédiée. Cette zone lui est exclusive. On l'appelle la mémoire.

# La mémoire

Lors de l'exécution d'un programme, une portion (de taille variable) de la mémoire lui est dédiée. Cette zone lui est exclusive. On l'appelle la mémoire.

On peut voir la mémoire comme un **très grand tableau d'octets**.

# La mémoire

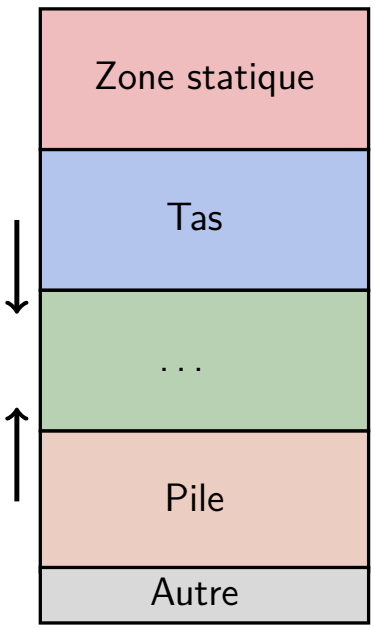
Lors de l'exécution d'un programme, une portion (de taille variable) de la mémoire lui est dédiée. Cette zone lui est exclusive. On l'appelle la mémoire.

On peut voir la mémoire comme un **très grand tableau d'octets**.

La mémoire est segmentée en plusieurs parties :

- la **zone statique** qui contient le code et les données statiques ;
- le **tas**, de taille variable au fil de l'exécution ;
- la **pile**, de taille variable au fil de l'exécution.

Il y a d'autres zones (non repr. ici).



# La mémoire

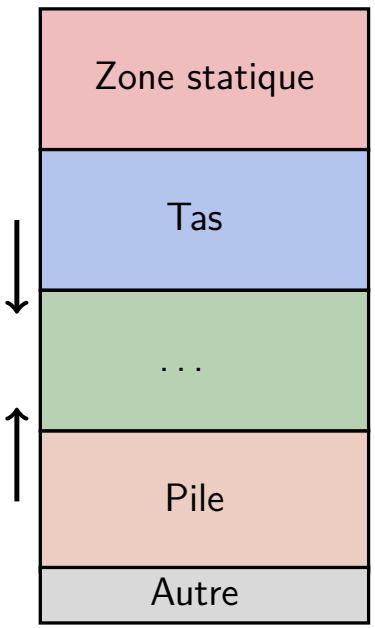
Lors de l'exécution d'un programme, une portion (de taille variable) de la mémoire lui est dédiée. Cette zone lui est exclusive. On l'appelle la mémoire.

On peut voir la mémoire comme un **très grand tableau d'octets**.

La mémoire est segmentée en plusieurs parties :

- la **zone statique** qui contient le code et les données statiques ;
- le **tas**, de taille variable au fil de l'exécution ;
- la **pile**, de taille variable au fil de l'exécution.

Il y a d'autres zones (non repr. ici).




Le tas contient les variables allouées dynamiquement.

La pile contient les variables locales lors des appels aux fonctions.

# Pointeurs

Nous avons vu que chaque variable possède une adresse.

Connaître l'adresse d'une variable est suffisant pour la manipuler (c.-à-d., lire et modifier sa valeur). L'objet qui permet de représenter et de manipuler des adresses est le pointeur.

# Pointeurs

Nous avons vu que chaque variable possède une adresse.

Connaître l'adresse d'une variable est suffisant pour la manipuler (c.-à-d., lire et modifier sa valeur). L'objet qui permet de représenter et de manipuler des adresses est le pointeur.

Un pointeur est une entité constituée des deux éléments suivants :

1. une adresse vers une zone de la mémoire ;
2. un type.

# Pointeurs

**Intuitivement**, un pointeur est une flèche munie d'un mode d'emploi, le tout pointant vers une zone de la mémoire.

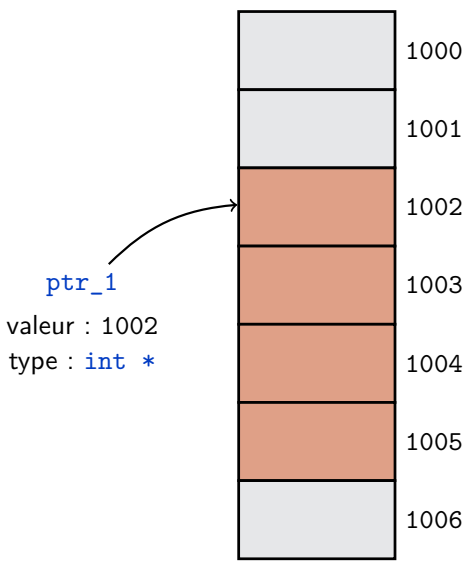
Le mode d'emploi décrit le type de la zone de la mémoire ainsi adressée en renseignant sur la taille de la zone.

# Pointeurs

**Intuitivement**, un pointeur est une flèche munie d'un mode d'emploi, le tout pointant vers une zone de la mémoire.

Le mode d'emploi décrit le type de la zone de la mémoire ainsi adressée en renseignant sur la taille de la zone.

Si `ptr_1` est un pointeur sur une donnée de type `int` (4 octets) :

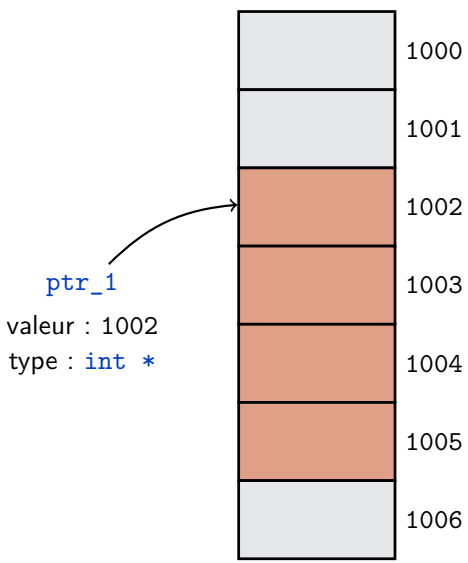


# Pointeurs

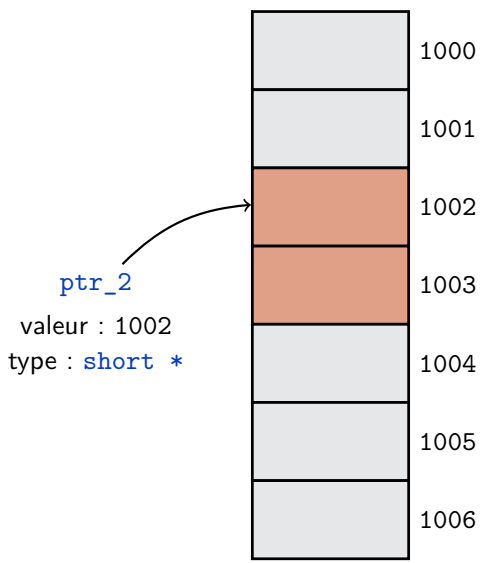
**Intuitivement**, un pointeur est une flèche munie d'un mode d'emploi, le tout pointant vers une zone de la mémoire.

Le mode d'emploi décrit le type de la zone de la mémoire ainsi adressée en renseignant sur la taille de la zone.

Si `ptr_1` est un pointeur sur une donnée de type `int` (4 octets) :




Si `ptr_2` est un pointeur sur une donnée de type `short` (2 octets) :



# Déclaration de pointeurs

On déclare un pointeur sur une zone de la mémoire de type `T` par

```
T *ptr;
```

# Déclaration de pointeurs

On déclare un pointeur sur une zone de la mémoire de type `T` par

```
T *ptr;
```

On accède à la valeur de la zone mémoire pointée par `ptr` par

```
*ptr
```

# Déclaration de pointeurs

On déclare un pointeur sur une zone de la mémoire de type `T` par

```
T *ptr;
```

On accède à la valeur de la zone mémoire pointée par `ptr` par

```
*ptr
```

On accède à l'adresse de la zone mémoire pointée par `ptr` par

```
ptr
```

# Déclaration de pointeurs

On déclare un pointeur sur une zone de la mémoire de type `T` par

```
T *ptr;
```

On accède à la valeur de la zone mémoire pointée par `ptr` par

```
*ptr
```

On accède à l'adresse de la zone mémoire pointée par `ptr` par

```
ptr
```

**Attention** : le même symbole `'*'` est utilisé pour la déclaration d'un pointeur et pour accéder à la valeur pointée. C'est une imperfection du langage C qui peut porter à confusion.

# Manipulation de pointeurs

On suppose que `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

# Manipulation de pointeurs

On suppose que `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

Il est possible de changer l'endroit où `ptr` pointe par

```
ptr = ADR;
```

où `ADR` est une adresse de la mémoire de type `T`.

# Manipulation de pointeurs

On suppose que `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

Il est possible de changer l'endroit où `ptr` pointe par

```
ptr = ADR;
```

où `ADR` est une adresse de la mémoire de type `T`.

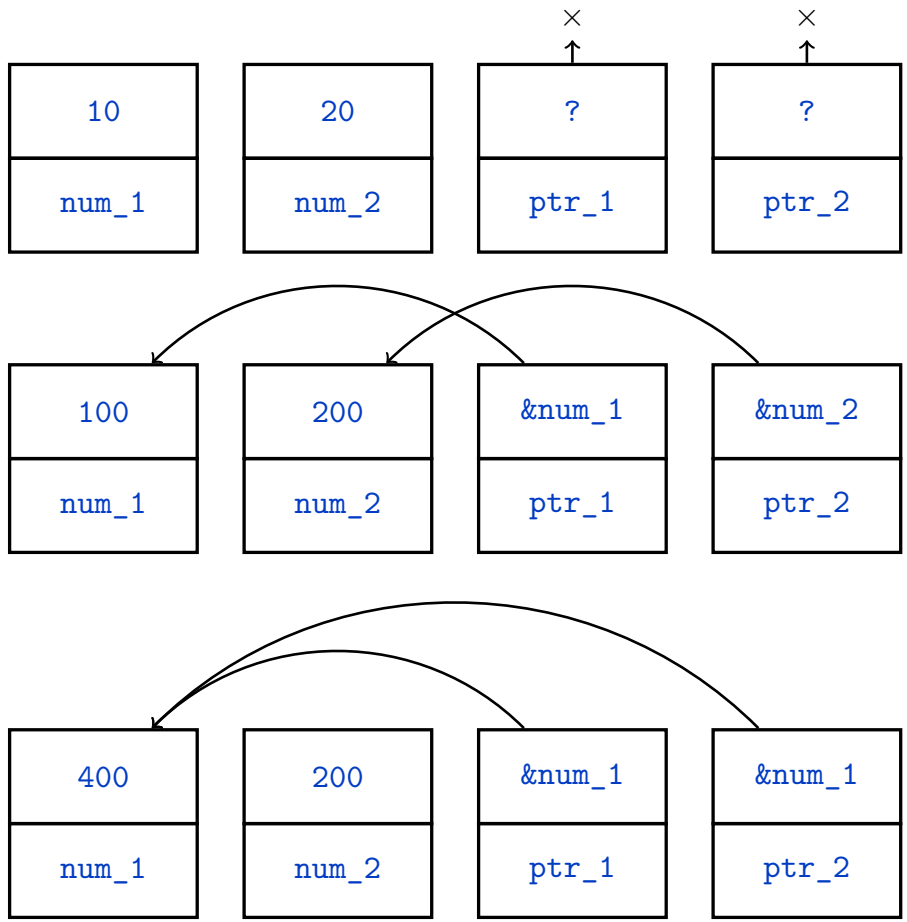
Il est possible d'affecter une valeur `VAL` de type `T` à `*ptr` par

```
*ptr = VAL;
```

De cette manière, la zone mémoire d'adresse `ptr` est modifiée et devient de valeur `VAL`.

# Manipulation de pointeurs — exemple

```
1   /* (1) */
2   int num1, num2;
3   int *ptr1, *ptr2;
4   num1 = 10;
5   num2 = 20;
6
7   /* (2) */
8   ptr1 = &num1;
9   ptr2 = &num2;
10  *ptr1 = 100;
11  *ptr2 = 200;
12
13  /* (3) */
14  ptr2 = ptr1;
15  *ptr1 = 300;
16  *ptr2 = 400;
```



# Pointeurs et tableaux statiques

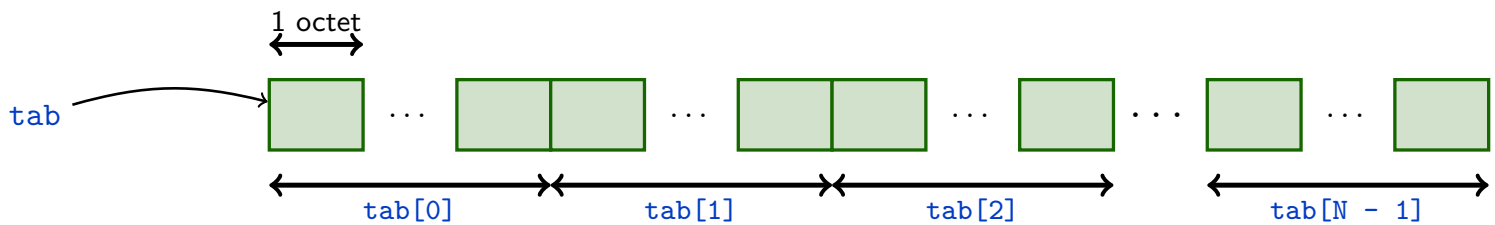
Un tableau est un pointeur vers le $1^{er}$ élément qui le constitue. Les autres éléments du tableau sont contigus en mémoire et situés à des adresses plus élevées.

# Pointeurs et tableaux statiques

Un tableau est un pointeur vers le 1$^{er}$ élément qui le constitue. Les autres éléments du tableau sont contigus en mémoire et situés à des adresses plus élevées.

On déclare un tableau statique de taille `N` de valeurs de type `T` par

```
T tab[N];
```

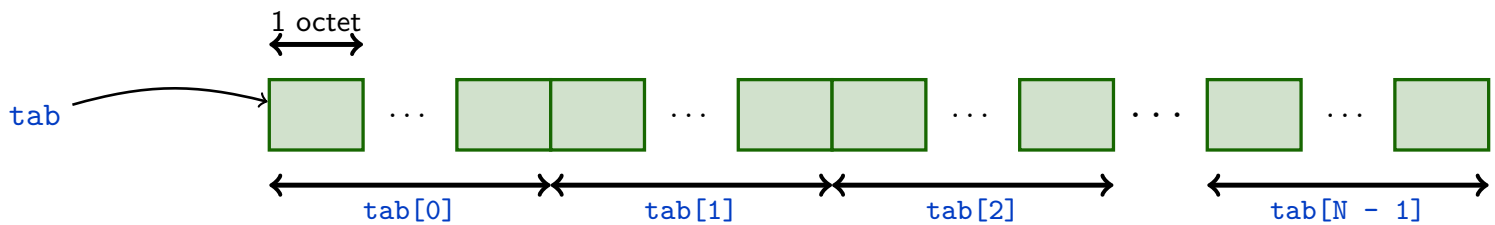


# Pointeurs et tableaux statiques

Un tableau est un pointeur vers le 1$^{er}$ élément qui le constitue. Les autres éléments du tableau sont contigus en mémoire et situés à des adresses plus élevées.

On déclare un tableau statique de taille `N` de valeurs de type `T` par

```
T tab[N];
```




On accède à la valeur du `i`$^{e}$ élément de `tab` par

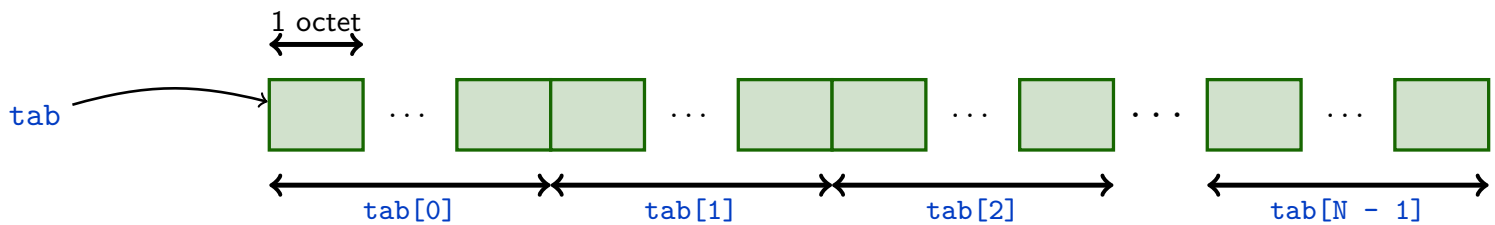
```
tab[i]
```

# Pointeurs et tableaux statiques

Un tableau est un pointeur vers le 1er élément qui le constitue. Les autres éléments du tableau sont contigus en mémoire et situés à des adresses plus élevées.

On déclare un tableau statique de taille `N` de valeurs de type `T` par

```
T tab[N];
```




On accède à la valeur du $i^e$ élément de `tab` par

```
tab[i]
```

On affecte une valeur `VAL` de type `T` en $i^e$ position dans `tab` par

```
tab[i] = VAL;
```

# Pointeurs et tableaux statiques

Sachant qu'un tableau `tab` est un pointeur et que ses éléments sont contigus en mémoire, la syntaxe

```
tab[i]
```

est équivalente à

```
*(tab + i)
```

# Pointeurs et tableaux statiques

Sachant qu'un tableau `tab` est un pointeur et que ses éléments sont contigus en mémoire, la syntaxe

```
tab[i]
```

est équivalente à

```
*(tab + i)
```

Le type du pointeur `tab` permet de faire un décalage correct en fonction de la taille en mémoire de ses éléments.

# Pointeurs et tableaux statiques

Sachant qu'un tableau `tab` est un pointeur et que ses éléments sont contigus en mémoire, la syntaxe

```
tab[i]
```

est équivalente à

```
*(tab + i)
```

Le type du pointeur `tab` permet de faire un décalage correct en fonction de la taille en mémoire de ses éléments.

En effet, si `ptr` est un pointeur pointant sur une zone mémoire de type `T`, la valeur de l'expression `ptr + i` dépend de la taille nécessaire pour représenter une valeur de type `T` (c.-à-d. de `sizeof(T)`).

# Pointeurs et tableaux statiques

Considérons les instructions suivantes :

```
int tab[2];
char *ptr;

tab[0] = 300;
tab[1] = 60;

printf("%p %p\n",
    tab + 0, tab + 1);
printf("%d %d\n",
    tab[0], tab[1]);

ptr = (char *) tab;
printf("%p %p\n",
    ptr + 0, ptr + 1);
printf("%d %d\n",
    ptr[0], ptr[1]);
```

# Pointeurs et tableaux statiques

Considérons les instructions suivantes :

```
int tab[2];
char *ptr;

tab[0] = 300;
tab[1] = 60;

printf("%p %p\n",
    tab + 0, tab + 1);
printf("%d %d\n",
    tab[0], tab[1]);

ptr = (char *) tab;
printf("%p %p\n",
    ptr + 0, ptr + 1);
printf("%d %d\n",
    ptr[0], ptr[1]);
```

Elles affichent

```
0x7fffc38b5d60 0x7fffc38b5d64
300 60
0x7fffc38b5d60 0x7fffc38b5d61
44 1
```

# Pointeurs et tableaux statiques

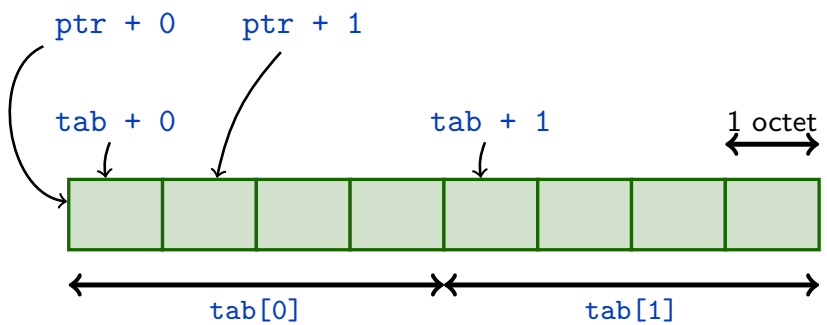
Considérons les instructions suivantes :

```
int tab[2];
char *ptr;

tab[0] = 300;
tab[1] = 60;

printf("%p %p\n",
    tab + 0, tab + 1);
printf("%d %d\n",
    tab[0], tab[1]);

ptr = (char *) tab;
printf("%p %p\n",
    ptr + 0, ptr + 1);
printf("%d %d\n",
    ptr[0], ptr[1]);
```

Elles affichent

```
0x7fffc38b5d60 0x7fffc38b5d64
300 60
0x7fffc38b5d60 0x7fffc38b5d61
44 1
```

Le pointeur `ptr` interprète les éléments du tableau `tab` comme des valeurs de taille 1 octet (= `sizeof(char)`).



# Plan

# Passage par valeur — rappel

Nous savons qu'il est impossible de modifier la valeur d'un argument passé à une fonction car celle-ci travaille sur une **copie de sa valeur**.

# Passage par valeur — rappel

Nous savons qu'il est impossible de modifier la valeur d'un argument passé à une fonction car celle-ci travaille sur une **copie de sa valeur**.

```
void incrementer(int nb) {
    nb = nb + 1;
}
...
num = 5;
incrementer(num);
printf("%d\n", num);
```

Ces instructions affichent 5.

# Passage par valeur — rappel

Nous savons qu'il est impossible de modifier la valeur d'un argument passé à une fonction car celle-ci travaille sur une **copie de sa valeur**.

```
void incrementer(int nb) {
    nb = nb + 1;
}
...
num = 5;
incrementer(num);
printf("%d\n", num);
```

Ces instructions affichent 5.

En ligne 6, c'est la **valeur** de num qui est transmise et non pas la variable elle-même.

# Passage par adresse

Cependant, si l'on donne l'adresse et le type d'une zone mémoire (ce qui revient à donner un pointeur vers la zone mémoire considérée), il devient possible de la modifier.

# Passage par adresse

Cependant, si l'on donne l'adresse et le type d'une zone mémoire (ce qui revient à donner un pointeur vers la zone mémoire considérée), il devient possible de la modifier.

```
void incrementer(int *ptr_nb) {
    *ptr_nb = *ptr_nb + 1;
}
...
num = 5;
incrementer(&num);
printf("%d\n", num);
```

Ces instructions affichent 6.

# Passage par adresse

Cependant, si l'on donne l'adresse et le type d'une zone mémoire (ce qui revient à donner un pointeur vers la zone mémoire considérée), il devient possible de la modifier.

```
void incrementer(int *ptr_nb) {
    *ptr_nb = *ptr_nb + 1;
}
...
num = 5;
incrementer(&num);
printf("%d\n", num);
```

Ces instructions affichent 6.

En ligne 6, c'est (la valeur de) l'**adresse** de `num` qui est transmise. Celle-ci universelle (visible partout).

# Passage par adresse

Cependant, si l'on donne l'adresse et le type d'une zone mémoire (ce qui revient à donner un pointeur vers la zone mémoire considérée), il devient possible de la modifier.

```
void incrementer(int *ptr_nb) {
    *ptr_nb = *ptr_nb + 1;
}
...
num = 5;
incrementer(&num);
printf("%d\n", num);
```

Ces instructions affichent 6.

En ligne 6, c'est (la valeur de) l'**adresse** de num qui est transmise. Celle-ci universelle (visible partout).

C'est un passage par adresse.

# Qualificateur `const`

Dans certains cas, un passage par adresse n'est pas fait pour modifier la valeur située à l'adresse spécifiée.

# Qualificateur const

Dans certains cas, un passage par adresse n'est pas fait pour modifier la valeur située à l'adresse spécifiée.

P.ex., cette fonction affiche, sans la modifier, la chaîne de caractères `chaine` en substituant des étoiles `'*'` aux caractères `c`.

```
void eto(      char *chaine, char c) {
    int i = 0;
    while (chaine[i] != '\0') {
        if (chaine[i] == c)
            putchar('*');
        else
            putchar(chaine[i]);
        i += 1;
    }
}
```

# Qualificateur `const`

Dans certains cas, un passage par adresse n'est pas fait pour modifier la valeur située à l'adresse spécifiée.

P.ex., cette fonction affiche, sans la modifier, la chaîne de caractères `chaine` en substituant des étoiles `'*'` aux caractères `c`.

On souhaite **protéger** `chaine` de toute modification sur son contenu.

```
void eto(      char *chaine, char c) {
    int i = 0;
    while (chaine[i] != '\0') {
        if (chaine[i] == c)
            putchar('*');
        else
            putchar(chaine[i]);
        i += 1;
    }
}
```

# Qualificateur const

Dans certains cas, un passage par adresse n'est pas fait pour modifier la valeur située à l'adresse spécifiée.

P.ex., cette fonction affiche, sans la modifier, la chaîne de caractères `chaine` en substituant des étoiles `'*'` aux caractères `c`.

On souhaite **protéger** `chaine` de toute modification sur son contenu.

```
void eto(const char *chaine, char c) {
    int i = 0;
    while (chaine[i] != '\0') {
        if (chaine[i] == c)
            putchar('*');
        else
            putchar(chaine[i]);
        i += 1;
    }
}
```

Pour cela, on place le qualificateur `const` devant la déclaration de `chaine`.

# Qualificateur `const`

Ainsi, plus généralement,

```
const T *ID
```

déclare un paramètre `ID`, pointeur sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

# Qualificateur `const`

Ainsi, plus généralement,

`const T *ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

```
void exemple_1(const int *x) {
    *x = 40;
}
```

Cette tentative directe pour modifier la valeur à l'adresse `x` est sanctionnée par le compilateur par une erreur.

# Qualificateur const

Ainsi, plus généralement,

`const T *ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

```
void exemple_1(const int *x) {
    *x = 40;
}
```

Cette tentative directe pour modifier la valeur à l'adresse `x` est sanctionnée par le compilateur par une erreur.

```
void exemple_2(const int *x) {
    int *tmp;
    tmp = x;
    *tmp = 40;
}
```

Cette tentative détournée pour modifier la valeur à l'adresse `x` est sanctionnée par le compilateur par un avertissement. Il est ainsi possible de modifier une valeur protégée.

# Qualificateur const

Ainsi, plus généralement,

`const T *ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

```
void exemple_1(const int *x) {
    *x = 40;
}
```

Cette tentative directe pour modifier la valeur à l'adresse `x` est sanctionnée par le compilateur par une erreur.

```
void exemple_2(const int *x) {
    int *tmp;
    tmp = x;
    *tmp = 40;
}
```

Cette tentative détournée pour modifier la valeur à l'adresse `x` est sanctionnée par le compilateur par un avertissement. Il est ainsi possible de modifier une valeur protégée.

Le qualificateur `const` est avant tout une **aide pour le développeur** : il informe d'un comportement à adopter.

# Qualificateur `const`

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

```
T *const ID
```

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs).

# Qualificateur `const`

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

```
T *const ID
```

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs). De plus,

```
const T *const ID
```

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

# Qualificateur const

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

```
T *const ID
```

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs). De plus,

```
const T *const ID
```

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

Voici un exemple qui illustre les quatre cas de figure :

```
void exemple_3(int *a, const int *b,
        int *const c,
        const int *const d) {

    int e;

}
```

# Qualificateur const

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

`T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs). De plus,

`const T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

Voici un exemple qui illustre les quatre cas de figure :

```
void exemple_3(int *a, const int *b,
        int *const c,
        const int *const d) {

    int e;

    a = &e; /* Autorise */
    *a = 3; /* Autorise */
                                    }
```

# Qualificateur const

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

`T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs). De plus,

`const T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

Voici un exemple qui illustre les quatre cas de figure :

```
void exemple_3(int *a, const int *b,
        int *const c,
        const int *const d) {

    int e;

    a = &e; /* Autorise */
    *a = 3; /* Autorise */
    b = &e; /* Autorise */
    *b = 3; /* Interdit */
}
```

# Qualificateur const

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

`T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs). De plus,

`const T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

Voici un exemple qui illustre les quatre cas de figure :

```
void exemple_3(int *a, const int *b,
        int *const c,
        const int *const d) {

    int e;

    a = &e; /* Autorise */
    *a = 3; /* Autorise */

    b = &e; /* Autorise */
    *b = 3; /* Interdit */

    c = &e; /* Interdit */
    *c = 3; /* Autorise */

}
```

# Qualificateur const

Le qualificateur `const` permet quelques subtilités :

`T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T` (il n'est pas possible de faire pointer `ID` ailleurs). De plus,

`const T *const ID`

déclare un paramètre `ID`, pointeur fixe sur une zone mémoire de type `T`, dont le contenu est protégé en écriture.

Voici un exemple qui illustre les quatre cas de figure :

```
void exemple_3(int *a, const int *b,
        int *const c,
        const int *const d) {

    int e;

    a = &e; /* Autorise */
    *a = 3; /* Autorise */

    b = &e; /* Autorise */
    *b = 3; /* Interdit */

    c = &e; /* Interdit */
    *c = 3; /* Autorise */

    d = &e; /* Interdit */
    *d = 3; /* Interdit */
}
```

# Plan

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

Pour créer des données persistantes dans une fonction, il faut écrire dans la mémoire ailleurs que dans la pile.

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

Pour créer des données persistantes dans une fonction, il faut écrire dans la mémoire ailleurs que dans la pile.

On écrit pour cela dans le tas. Cela se fait en deux temps :

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

Pour créer des données persistantes dans une fonction, il faut écrire dans la mémoire ailleurs que dans la pile.

On écrit pour cela dans le tas. Cela se fait en deux temps :

1. on demande au système d'allouer (de réserver) une certaine portion du tas ;

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

Pour créer des données persistantes dans une fonction, il faut écrire dans la mémoire ailleurs que dans la pile.

On écrit pour cela dans le tas. Cela se fait en deux temps :

1. on demande au système d'allouer (de réserver) une certaine portion du tas ;
2. on écrit ensuite dans cette zone en lui affectant la valeur souhaitée.

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

Pour créer des données persistantes dans une fonction, il faut écrire dans la mémoire ailleurs que dans la pile.

On écrit pour cela dans le tas. Cela se fait en deux temps :

1. on demande au système d'allouer (de réserver) une certaine portion du tas ;
2. on écrit ensuite dans cette zone en lui affectant la valeur souhaitée.

Pour allouer une portion du tas, on utilise la fonction

```
void *malloc(size_t size);
```

# Données persistantes en mémoire

Nous savons que toutes les variables locales à une fonction n'existent plus après son appel.

Pour créer des données persistantes dans une fonction, il faut écrire dans la mémoire ailleurs que dans la pile.

On écrit pour cela dans le tas. Cela se fait en deux temps :

1. on demande au système d'allouer (de réserver) une certaine portion du tas ;
2. on écrit ensuite dans cette zone en lui affectant la valeur souhaitée.

Pour allouer une portion du tas, on utilise la fonction

```
void *malloc(size_t size);
```

Elle renvoie un pointeur de type générique `void *` sur une donnée en mémoire de taille `size` octets.

# Utilisation de `malloc`

Pour allouer une zone de la mémoire pouvant accueillir `N` valeurs d'un type `T`, on utilise l'instruction

```
ptr = (T *) malloc(sizeof(T) * N);
```

où `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

# Utilisation de `malloc`

Pour allouer une zone de la mémoire pouvant accueillir `N` valeurs d'un type `T`, on utilise l'instruction

```
ptr = (T *) malloc(sizeof(T) * N);
```

où `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

Explications :

- `(T *)` sert à préciser que la zone de la mémoire à allouer est de type `T`. Cette précision est nécessaire car, par défaut, `malloc` renvoie un pointeur sur une zone non typée (`void *`) ;

# Utilisation de `malloc`

Pour allouer une zone de la mémoire pouvant accueillir `N` valeurs d'un type `T`, on utilise l'instruction

```
ptr = (T *) malloc(sizeof(T) * N);
```

où `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

Explications :

- `(T *)` sert à préciser que la zone de la mémoire à allouer est de type `T`. Cette précision est nécessaire car, par défaut, `malloc` renvoie un pointeur sur une zone non typée (`void *`) ;
- l'argument `sizeof(T) * N` permet de demander à allouer une zone mémoire de taille `sizeof(T) * N` octets. Celle-ci pourra donc accueillir `N` valeurs de type `T`.

# Utilisation de `malloc`

Pour allouer une zone de la mémoire pouvant accueillir `N` valeurs d'un type `T`, on utilise l'instruction

```
ptr = (T *) malloc(sizeof(T) * N);
```

où `ptr` est un pointeur pointant sur une zone de la mémoire de type `T`.

Explications :

- `(T *)` sert à préciser que la zone de la mémoire à allouer est de type `T`. Cette précision est nécessaire car, par défaut, `malloc` renvoie un pointeur sur une zone non typée (`void *`) ;
- l'argument `sizeof(T) * N` permet de demander à allouer une zone mémoire de taille `sizeof(T) * N` octets. Celle-ci pourra donc accueillir `N` valeurs de type `T`.

Après exécution de cette instruction, `ptr` pointe sur le début d'une zone de la mémoire de taille `sizeof(T) * N` octets.

# Tests d'erreurs et `malloc`

C'est le système d'exploitation qui, lors de l'appel à `malloc` se charge de fournir une adresse pour la zone mémoire à allouer.

# Tests d'erreurs et `malloc`

C'est le système d'exploitation qui, lors de l'appel à `malloc` se charge de fournir une adresse pour la zone mémoire à allouer.

Il se peut que pour une raison ou une autre, il ne soit pas possible d'allouer la zone mémoire demandée. Dans ce cas, `malloc` renvoie une valeur spéciale : `NULL`. Cette valeur vaut `0` et est une constante définie dans `stdlib.h`.

# Tests d'erreurs et `malloc`

C'est le système d'exploitation qui, lors de l'appel à `malloc` se charge de fournir une adresse pour la zone mémoire à allouer.

Il se peut que pour une raison ou une autre, il ne soit pas possible d'allouer la zone mémoire demandée. Dans ce cas, `malloc` renvoie une valeur spéciale : `NULL`. Cette valeur vaut `0` et est une constante définie dans `stdlib.h`.

Il est impératif de tester, pour toute allocation dynamique réalisée, son bon déroulement. On procède de la manière suivante :

```
char *ptr;
ptr = (char *) malloc(sizeof(char) * 1);
if (NULL == ptr) exit(EXIT_FAILURE);
```

# Tests d'erreurs et `malloc`

C'est le système d'exploitation qui, lors de l'appel à `malloc` se charge de fournir une adresse pour la zone mémoire à allouer.

Il se peut que pour une raison ou une autre, il ne soit pas possible d'allouer la zone mémoire demandée. Dans ce cas, `malloc` renvoie une valeur spéciale : `NULL`. Cette valeur vaut `0` et est une constante définie dans `stdlib.h`.

Il est impératif de tester, pour toute allocation dynamique réalisée, son bon déroulement. On procède de la manière suivante :

```
char *ptr;
ptr = (char *) malloc(sizeof(char) * 1);
if (NULL == ptr) exit(EXIT_FAILURE);
```

De cette manière, si l'allocation s'est mal passée, on interrompt immédiatement l'exécution.

# Tests d'erreurs et `malloc`

C'est le système d'exploitation qui, lors de l'appel à `malloc` se charge de fournir une adresse pour la zone mémoire à allouer.

Il se peut que pour une raison ou une autre, il ne soit pas possible d'allouer la zone mémoire demandée. Dans ce cas, `malloc` renvoie une valeur spéciale : `NULL`. Cette valeur vaut `0` et est une constante définie dans `stdlib.h`.

Il est impératif de tester, pour toute allocation dynamique réalisée, son bon déroulement. On procède de la manière suivante :

```
char *ptr;
ptr = (char *) malloc(sizeof(char) * 1);
if (NULL == ptr) exit(EXIT_FAILURE);
```

De cette manière, si l'allocation s'est mal passée, on interrompt immédiatement l'exécution.

`void exit(int status)` est une fonction de `stdlib.h` qui permet de terminer l'exécution d'un programme. `EXIT_FAILURE` est une constante de `stdlib.h` qui vaut `1`.