UPMC

Master P&A/SDUEE

UE MP050

Méthodes Numériques et Informatiques - A

Langage C

Jacques.Lefrere@aero.jussieu.fr

Sofian.Teber@lpthe.jussieu.fr

Albert Hertzog

2014–2015

Table des matières

1 Introduction

1.1 Programmation en langage compilé

Conception, écriture et exécution d'instructions destinées à être traitées de manière automatique par un appareil informatique :

- **conception** : définir l'objectif du programme et la méthode à utiliser
  $\Rightarrow$ algorithmique
- **codage** : écrire le programme suivant la syntaxe d'un langage de haut niveau,
  portable et utilisant des bibliothèques : C, fortran, ...
  $\Rightarrow$ code source : fichier texte avec instructions commentées compréhensibles pour le concepteur... et les autres
- **compilation** : transformer le code source en un code machine
  $\Rightarrow$ code objet puis code exécutable : fichiers binaires compréhensibles par la machine (le processeur)
- **exécution** : tester le bon fonctionnement du programme
  $\Rightarrow$ exploitation des capacités de l'appareil informatique et production de résultats

— L'ordinateur est muni d'un **système d'exploitation** (*exemple :* linux).

— Le code source est un fichier texte écrit au moyen d'un **éditeur de texte**.
Exemples : `vi`, `emacs`, `kate`, `kwrite`, ... sous linux.
Un fichier code source C doit avoir une **extension `.c`**

— Le code machine (fichier objet ou exécutable) est généré par un **compilateur**[a] :
programme qui analyse le code source, signale les erreurs de syntaxe, produit des avertissements sur les constructions suspectes, convertit un code source en code machine, optimise le code machine...
Exemples :
`gcc` (*GNU Compiler Collection* - compilateur C standard sous UNIX et linux),
`icc` (compilateur C d'Intel).

— Les instructions du programme sont exécutées par un **processeur** caractérisé par son architecture, la taille de ses registres (nombre de bits traités ensemble : 32, 64 bits), sa vitesse d'horloge (mega ou giga Hertz), son jeu d'instructions...

1.2 Historique du C

— langage conçu dans les années 1970

— 1978 : parution de The C Programing Langage de B. KERNIGHAN et D. RICHIE

— développement lié à la diffusion du système UNIX

— 1988–90 : normalisation **C89** ANSI–ISO (bibliothèque standard du C)
Deuxième édition du KERNIGHAN et RICHIE norme ANSI

— 1999 : norme **C99** en cours d'implémentation :
http://gcc.gnu.org/c99status.html
Ajout de nouveaux types (booléen, complexe, entiers de diverses tailles (prise en compte des processeurs 64 bits), caractères étendus (unicode), ...).
Introduction de la généricité dans les fonctions numériques, déclarations tardives des variables, tableaux automatiques de taille variable...
$\Rightarrow$ se conformer à une **norme** pour la portabilité

— base d'autres langages dont **C++** (premier standard en 1998), **PHP, Java**, etc.

1.3 Intérêts du C

Langage C
langage de **haut niveau** (structures de contrôle, structures de données, fonctions, compilation séparée, ...)
mais aussi ... langage de **bas niveau** (manipulation de bits, d'adresses, ...)
applications scientifiques et de gestion
langage **portable** grâce à la norme et à des bibliothèques
langage puissant, efficace, mais aussi ... **permissif** !
écriture de systèmes d'exploitation

1.4 Généralités

	langage C
format	≪**libre**≫ ⇒ mettre en évidence les structures par la mise en page (indentation)
ligne	pas une entité particulière (sauf préprocesseur) (la fin de ligne est un séparateur comme l'espace, la tabulation, ...)
fin d'instructions	instructions simples terminées par **;**
commentaire	entre **/*** et ***/** (pas d'imbrication selon la norme) en C99 et C++ : introduit par **//** et terminé en fin de ligne
directive préprocesseur	Introduite par **#** en première colonne
Identificateur variable	commence par une lettre ou _. 31 caractères alphanumériques plus _ sont **distingués**
maj/minuscule	**distinction**

1.5 Exemple de programme C avec une seule fonction

```
/* programme elem0.c */
#include <stdio.h>                  /* instructions préprocesseur */
#include <stdlib.h>                 /* = directives
*/

int main(void)                      /* fonction principale */
{                                   /* <<= debut du bloc principal */
  int i ;                           /* déclaration */
  int s=0 ;                         /* déclaration + initialisation*/

  for (i = 1 ; i <= 5 ;  i++)       /* structure de boucle */
  {                                 /* <<= début de sous bloc */
      s += i ;
  }                                 /* <<= fin de sous bloc */
  printf("somme des entiers de 1 à 5\n") ;
  printf("somme = %d\n", s) ;
  exit(0) ;                       /* renvoie à unix le status 0 (OK) */
}                                   /* <<= fin du bloc principal */
```

1.6 Structure générale d'un programme C

Structure générale d'un programme C élémentaire :

```
/* programme elem1.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void)
{
        Déclarations des variables;

        Instructions exécutables;
}
```

Conseils pour la mise en page :

- une instruction par ligne
- indenter à l'ouverture d'un bloc

— Une **instruction simple** doit se terminer par `;`

— Une **instruction composée** est constituée d'un **bloc** d'instructions (imbrication des blocs possible). Elle est délimitée par des accolades `{` et `}`.

— Un programme C = une (ou plusieurs) **fonction(s)** dont au moins la fonction `main` : le programme principal.

N.-B : à l'extérieur de ces fonctions, il peut comporter des instructions, des déclarations de variables, des déclarations de fonctions spécifiant leur prototype, et des directives pour le préprocesseur introduites par `#`.

— La définition d'une **fonction** se compose d'un **entête** et d'un **corps** (entre `{` et `}`) qui est en fait une instruction composée.

— L'**entête** d'une fonction spécifie le **type** de la valeur de retour, le nom de la fonction et ses paramètres ou arguments :

```
type nom_fonction (type1 arg1, type2 arg2, ...)
```

où chaque argument est déclaré par son type, suivi de son identificateur

1.7 Exemple de programme C avec deux fonctions

```c
/* programme elem.c */
/*  debut des instructions préprocesseur */
#include <stdio.h>                      /* pour les entrées/sorties */
#include <stdlib.h>                     /* par exemple pour exit  */
/* fin des instructions préprocesseur  */
int somme(const int p) ;                /* déclaration de la fonction somme */
int main(void)                          /* fonction principale (sans param.)*/
{                                       /*  <<= début de bloc */
  int s ;                               /* déclaration de l'entier s  */
  printf("somme des entiers de 1 à 5\n");/* avec retour ligne => "\n" */
  s = somme(5) ;                        /* appel de la fonction somme */
  printf("somme = %d\n", s) ;           /* impression du résultat     */
  exit(0) ;                             /* renvoie à unix un status 0 (OK) */
}                                       /*  <<= fin de bloc  */
/*                                                                  */
```

```c
int somme(const int p)                  /* définition de la fonction somme */
/*
 * calcul de la somme des p premiers entiers
 */
{                                       /*  <<= début de bloc  */
  int i , sum ;                         /* déclaration des var. locales */
  for (i = 0, sum = 0 ; i <= p ;  i++)   /* structure de boucle  */
    {                                   /*     <<= début de bloc */
      sum += i ;                        /*  sum = sum + i */
      printf(" i = %d, somme partielle = %d\n", i, sum) ;
    }                                   /*     <<= fin de bloc  */
  return sum ;                          /* valeur rendue par la fonction */
}                                       /*  <<= fin de bloc  */
```

1.8 Compilation

— Fichier ou code **source** (texte) de suffixe `.c` en C

— Fichier **objet** (binaire) de suffixe `.o`

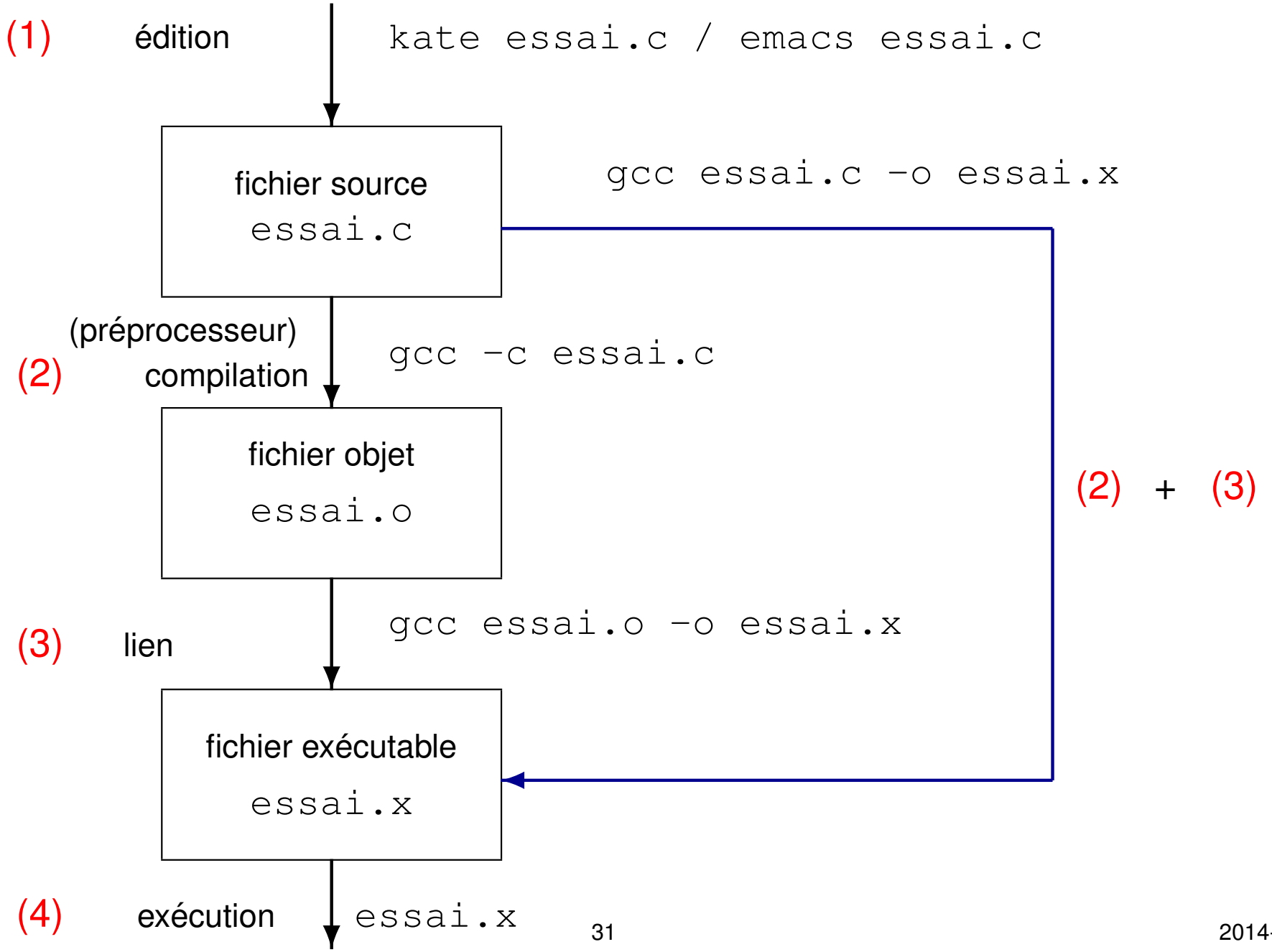
— Fichier **exécutable** (binaire) `a.out` par défaut

La commande de compilation `gcc toto.c` lance par défaut trois actions :

1. traitement par le **préprocesseur** (`cpp`) des lignes commençant par # (transformation textuelle) $\rightarrow$ fichier **texte** modifié
2. **compilation** à proprement parler $\rightarrow$ fichier **objet** `.o`
3. **édition de lien** (`gcc` lance `ld`) $\rightarrow$ fichier **exécutable** `a.out`

   assemblage des codes objets et résolution des appels aux bibliothèques

N.-B. : seul le fichier source est portable (indépendant de la machine)


(1) édition
kate essai.c / emacs essai.c
fichier source
essai.c
gcc essai.c -o essai.x
(préprocesseur)
(2) compilation
gcc -c essai.c
fichier objet
essai.o
(2) + (3)
gcc essai.o -o essai.x
(3) lien
fichier exécutable
essai.x
(4) exécution
essai.x

Options de compilation permettant de choisir les étapes et les fichiers :

→ `gcc` **`-E`** `toto.c` : préprocesseur seulement

→ **`-c`** : préprocesseur et compilation seulement

→ **`-o`** `toto.x` : permet de spécifier le nom du fichier exécutable

→ **`-l`**`truc` donne à `ld` l'accès à la **bibliothèque** `libtruc.a`

(ex. : **`-lm`** pour `libm.a`, bibliothèque mathématique indispensable en C)

Options de compilation utiles à la **mise au point** :

→ vérification des standards du langage (errors)

→ avertissements (warnings) sur les instructions suspectes (variables non utilisées, instructions apparemment inutiles, changement de type, ...)

→ vérification des passages de paramètres

(nécessite un contrôle interprocédural, donc les prototypes)

⇒ faire du compilateur un **assistant efficace** pour **anticiper les problèmes** avant l'édition de lien ou, pire, l'exécution.

1.9 Compilateur

langage C
gcc (dans le shell)
avec options sévères
C89 (ANSI) $\rightarrow$ alias **gcc-mni-c89**
C99$\rightarrow$ alias **gcc-mni-c99**
doc : http://gcc.gnu.org

2 Types des variables

Le C est un langage typé : il faut déclarer chaque variable utilisée dans le code $\Rightarrow$ indiquer quel est le type de la variable utilisée.

2.1 Types de base

Type	Dénomination
vide	`void`
booléen	(C99) **`bool`** **`#include <stdbool.h>`**
Entier	
caractère	`char`
caractère large	(C99) **`wchar_t`**
court	`short (int)`
courant	`int`
long	`long (int)`
plus long	(C99) **`long long`**
Réel	
simple précision	`float`
courant	`double`
quadruple précision	`long double`
(C99)Complexe	
simple	**`float complex`**
courant	**`(double) complex`**
long	**`long double complex`**
	`#include <tgmath.h>`

2.2 Déclaration et affectation des variables

Déclarer une variable = réserver une zone en mémoire pour la stocker

Chaque variable déclarée est stockée dans une zone mémoire qui lui est propre (mémoire vive ou **RAM**) sous un certain codage :

- emplacement de cette zone : **adresse unique** propre à chaque variable.
- taille de cette zone : dépend du **type** de la variable (et du processeur 32/64 bits).

C89 : déclarer en tête des fonctions (**syntaxe conseillée pour les débutants**)

C99 : n'importe où (**mais en tête de bloc pour la lisibilité du code source**)

Affecter une variable = stocker une valeur dans la zone mémoire réservée

Initialiser une variable = affecter une valeur à une variable au moment de la réservation de la mémoire

Remarque importante : avant initialisation (ou première affectation) la valeur d'une variable est indéterminée.

2.2.1 Syntaxe et exemples

```
type identifiant1, identifiant2=valeur ... ;
```

Exemples avec des entiers :

- Déclaration de 3 entiers : `int j, j2, k_max ;`
- Déclaration avec initialisation : `int a = 2, b = 3 ;`
- Affectation (après déclaration) : `k_max=4 ;`

Exemples avec des floats :

- Déclaration de 3 floats : `float x, y, z ;`
- Déclaration avec initialisation : `float v = 1.5f, w = 3.f ;`
- Affectation (après déclaration) : `z=4.5f ;`

Exemples avec des doubles :

- Déclaration de 3 doubles : `double x, y, z ;`
- Déclaration avec initialisation : `double v = 1.5, w = 3. ;`
- Affectation (après déclaration) : `z=4.5 ;`

2.2.2 Valeurs

Type	langage C
`bool`	(C99) **`true`** **`false`**
`char`	`'a'`
Chaînes	`"chaine"` `"\n"` `"s'il"`
`short`	`17`
`int` (décimal)	`17`
`int` (octal)	**`0`**`21` (attention)
`int` (hexadécimal)	**`0x`**`11`
`long`	`17`**`l`**
`long long`	`17`**`ll`**
`float`	`-47.1`**`f`** `-6.2e-2`**`f`**
`double`	`-47.1` `-6.2e-2`
`long double`	`-47.1`**`l`** `-6.2e-2`**`l`**
`complex`	(C99) **`3.5+I*2.115`**

2.3 Domaine et représentation machine des entiers

2.3.1 Domaine des entiers non-signés et signés

Attributs **`unsigned`** et **`signed`** des types entiers ou caractères pour indiquer si le bit de poids fort est un bit de signe (cas par défaut pour les entiers).

taille et **domaine** des entiers (dépend de la machine) en base 2

type	taille	**`unsigned`**	**`signed`**
`char`	1 octet	$0 \rightarrow 255 = 2^{8} - 1$	$-128 \rightarrow +127$
`short`	2 octets	$0 \rightarrow 2^{16} - 1$	$-2^{15} \rightarrow 2^{15} - 1$
`int`	4 octets	$0 \rightarrow 2^{32} - 1$	$-2^{31} \rightarrow 2^{31} - 1$
`long`	(4 [a] ou) 8 [b] octets	$0 \rightarrow 2^{64} - 1$	$-2^{63} \rightarrow 2^{63} - 1$

a. Machine 32 bits
b. Machine 64 bits

Pour les entiers signés : (en base 2 et base 10)

Rappel : $\log_{10} 2 \approx 0,30 \quad \Rightarrow \quad 2^{10} = 1024 = 10^{10 \log_{10}(2)} \approx 10^3$

	C	
sur 32 bits = 4 octets	**`INT_MAX`**	$2^{31} \approx 2 \times 10^9$
sur 64 bits = 8 octets	**`LONG_MAX`**	$2^{63} \approx 8 \times 10^{18}$

$\Rightarrow$ C99 : types entiers étendus à nb d'octets imposé ou à minimum imposé

par exemple : **`int32_t`** ou **`int_least64_t`**

Dépassement de capacité en entier $\Rightarrow$ passage en négatif

2.3.2 Représentation machine des entiers

Stockage en mémoire $\Rightarrow$ **représentation binaire**

(représentation exacte pour les entiers mais pas pour les flottants, en général)

Représentation binaire dans le cas des entiers :

- **entier non signé :** décomposition de l'entier en base 2
- **entier signé :**
  - bit de poids fort : 0 (entier positif) ou 1 (entier négatif),
  - bits restants : décomposition de l'entier en base 2

    (complémentaire bit à bit + 1 pour les entiers négatifs)

Exemples :

Entier non-signé `i=10` codé sur 4 octets : 00000000000000000000000000001010.

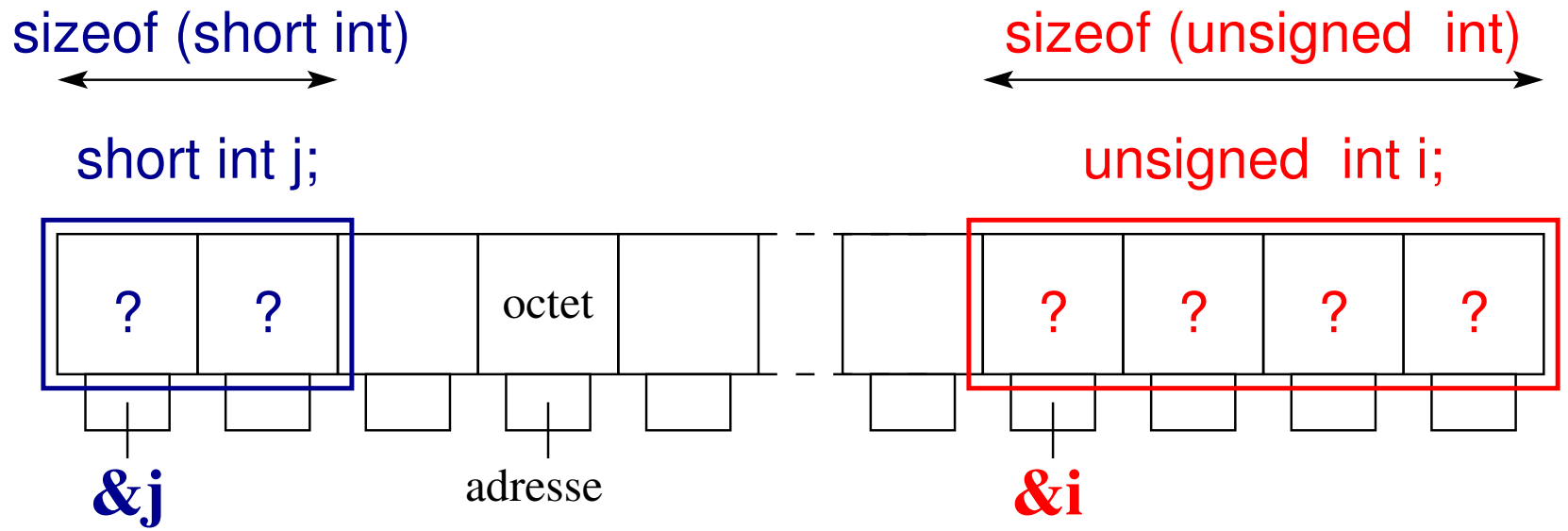
Entier signé court `j=-1` codé sur 2 octets : 1111111111111111.

2.3.3 Structure simplifiée de la RAM : déclaration de deux entiers

Déclaration de deux variables :

```
short int j; unsigned int i;
```

Structure simplifiée de la RAM **au cours de l'exécution de ces instructions** :



De manière générale :

- **la mémoire est segmentée** (segment élémentaire : 1 octet)
- **chaque segment est associé à une adresse** (nombre entier long non-signé)

En particulier, lors de la compilation de l'instruction de déclaration :

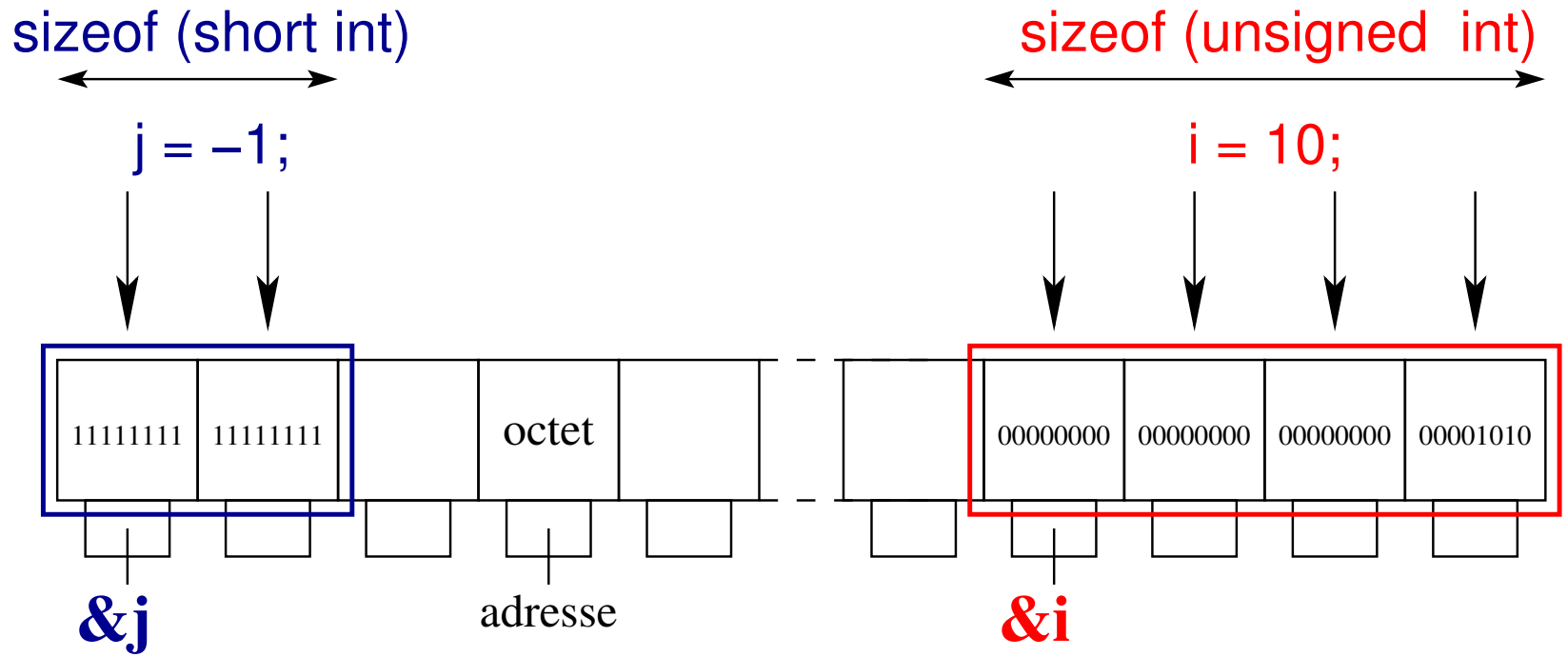
- réservation d'un nombre d'octets qui dépend du type de la variable (`sizeof(type)` donne la **taille** en octets du type `type`)
- attribution d'une **adresse** : celle associée au premier segment occupé (`&i` et `&j` sont les adresses de `i` et `j` où `&` est l'opérateur adresse)
- si la variable n'a pas été initialisée sa valeur est indeterminée (`?`)

2.3.4 Structure simplifiée de la RAM : affectation de deux entiers

Affectation des deux variables (après déclaration) :

```
j=-1; i=10;
```

Structure simplifiée de la RAM **au cours de l'exécution de ces instructions** :



2.4 Valeurs maximales des entiers en C

```c
/* programme limites-int-machine.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <limits.h>  /* valeurs limites definies ici */
int main(void)
{
  /* impression des valeurs limites des entiers sur la machine */
  /* non-signés puis signés en décimal, hexadécimal et octal */

  /* entier long */
  printf("%-18s %20lu %16lx %22lo\n",
    "Unsigned-Long-max", ULONG_MAX, ULONG_MAX, ULONG_MAX);
  printf("%-18s %20ld %16lx % 22lo\n",
    "Long-max", LONG_MAX, LONG_MAX, LONG_MAX);
```

```
  /* entier */
  printf("%-18s %20u %16x % 22o\n",
    "Unsigned-Int-max", UINT_MAX, UINT_MAX, UINT_MAX);
  printf("%-18s %20d %16x % 22o\n",
    "Int-max", INT_MAX, INT_MAX, INT_MAX);

  /* entier court */
  printf("%-18s %20hu %16hx % 22ho\n",
    "Unsigned-Short-max", USHRT_MAX, USHRT_MAX,  USHRT_MAX);
  printf("%-18s %20hd %16hx % 22ho\n",
    "Short-max",SHRT_MAX, SHRT_MAX, SHRT_MAX);
  exit(0) ;
}
```

2.4.1 Valeurs maximales des entiers en C : machine 32 bits

```
Unsig-Lng-Lng-max  18446744073709551615 ffffffffffffffff 17777777777777777777
Long-Long-max       9223372036854775807 7fffffffffffffff  7777777777777777777

Unsigned-Long-max            4294967295         ffffffff           37777777777
Long-max                     2147483647         7fffffff           17777777777
Unsigned-Int-max             4294967295         ffffffff           37777777777
Int-max                      2147483647         7fffffff           17777777777
Unsigned-Short-max                65535             ffff               177777
Short-max                         32767             7fff                77777
```

2.4.2 Valeurs maximales des entiers en C : machine 64 bits

```
Unsig-Lng-Lng-max  18446744073709551615 ffffffffffffffff 17777777777777777777
Long-Long-max       9223372036854775807 7fffffffffffffff  7777777777777777777

Unsigned-Long-max  18446744073709551615 ffffffffffffffff 17777777777777777777
Long-max            9223372036854775807 7fffffffffffffff  7777777777777777777
Unsigned-Int-max             4294967295         ffffffff           37777777777
Int-max                      2147483647         7fffffff           17777777777
Unsigned-Short-max                65535             ffff               177777
Short-max                         32767             7fff                77777
```

2.5 Domaine et précision des flottants

2.5.1 Codage des flottants

Un flottant est un nombre réel qui est décrit par (en décimal ici, en machine le codage est en binaire) :

- **un signe**
- **une mantisse** dont le nombre maximal de digits indique la précision
- **un exposant** dont le nombre maximal de digits indique le domaine.

Lorsque le nombre maximal de digits est fixé et que l'exposant peut varier on parle de représentation en **virgule flottante**.

Exemples en base 10 : (la mantisse m est telle que : $1 \leq m < 10$)

- $100,5$ correspond à $1,005 \times 10^2$
  $\Rightarrow$ exposant de 2 (1 digit) et mantisse $m = 1,005$ (3 digits)
- 1000000020 correspond à $1,000000020 \times 10^9$
  $\Rightarrow$ exposant de 9 (1 digit) et mantisse $m = 1,000000020$ (9 digits)

En machine, un flottant codé sur 4 octets est décomposé en :
1 bit de signe, 23 bits pour la mantisse et 8 bits pour l'exposant.

2.5.2 Domaine et précision des flottants

— **Domaine** fini comme pour les entiers : valeur finie de l'exposant

— **Précision** limitée contrairement aux entiers : nombre fini de digits de la mantisse

(ϵ défini comme la plus grande valeur telle que $1 + \epsilon = 1$)

$\Rightarrow$ les flottants ne peuvent être représentés exactement, en général.

simple préc. = 4 octets	**FLT_MAX**	$3,4 \times 10^{38}$
	FLT_MIN	$1,18 \times 10^{-38}$
	FLT_EPSILON	$1,2 \times 10^{-7}$
double préc. = 8 octets	**DBL_MAX**	$1,8 \times 10^{308}$
	DBL_MIN	$2,2 \times 10^{-308}$
	DBL_EPSILON	$2,2 \times 10^{-16}$

Application :

Pas de différence entre 1000000020 et 1000000000 pour des variables du type `float` puisque la mantisse est de 9 digits alors que le type `float` autorise une précision de 7 digits au maximum.

2.6 Constantes

2.6.1 Syntaxe

Attribut **const** devant le type

```
const int j = -1;
```

mais la non-modification des constantes (via une fonction notamment) n'est pas toujours respectée $\Rightarrow$ on pourra également utiliser la directive **#define** du préprocesseur

```
#define J -1    /* attention: pas de ; */
```

Le préprocesseur substituera `J` par `-1` partout dans le programme... mais la constante n'est plus typée

2.6.2 Exemples d'attribut `const` en C

```
/* programme const.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void) {
  const int i = 2 ; /* non modifiable */

  i++ ;      /* => erreur à la compilation */
  printf("i vaut %d\n", i);

  exit(0);
}
```

Avec `gcc` par exemple

```
const.c:9: error: increment of read-only variable 'i'
```

2.6.3 Exemples d'utilisation de `#define`

```
/* programme const2.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define J 2 /* préproc. remplace J par 2 */

int main(void) {
  J=1 ;      /* => erreur à la compilation */

  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Avec `gcc` par exemple

```
const2.c:5: invalid lvalue in assignment
```

3 Opérateurs

Opérateurs unaires : agissent sur un seul argument.

Opérateurs binaires : agissent sur deux arguments.

Opérateurs ternaires : agissent sur trois arguments.

3.1 Opérateur d'affectation

Opérateur binaire évalué de droite à gauche :

lvalue = expression $\Rightarrow$ conversions implicites éventuelles

(le terme de droite est converti dans le type du terme de gauche)

En cas de conversion il est fortement conseillé de l'expliciter :

lvalue = (type) expression $\Rightarrow$ conversion explicite (opérateur **cast**)

Attention aux problèmes d'étendue/précision lors de l'affectation.

```c
/* programme precision.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void) {
  int a=123456789;
  float b=0.123456789f;
  float c;
  printf("float: %d\nint: %d\n",sizeof(float),sizeof(int));
  c=(float)a;
  printf("%d %.10g %.10g\n",a,c,b);  /* passage en double
                pour plus de precision - attention au f*/
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
float : 4
int   : 4
123456789 123456792 0.123456791
```

3.2 Opérateurs algébriques

	langage C
addition	+
soustraction	−
multiplication	*
division	/
reste modulo	%

Remarques :

— opérateurs +, −, *, / et % : opérateurs binaires agissant de gauche à droite.

— attention à la différence entre les opérateurs algébriques binaires − et + d'une part, et les opérateurs unaires de signe : − (opposé) et + d'autre part.

— élévation à la puissance au moyen de la fonction **`pow(x,y)`**
(inclure le fichier **`tgmath.h`** dans le code source
et ajouter l'option **`-lm`** à la compilation).

3.3 Opérateurs de comparaison

résultat	entier
inférieur à	<
inférieur ou égal à	<=
égal à	==
supérieur ou égal à	>=
supérieur à	>
différent de	!=

Attention : ne pas confondre l'opérateur test d'égalité == avec l'opérateur d'affectation =.

3.4 Opérateurs logiques

ET	&&
OU	||
NON	!

3.5 Incrémentation et décrémentation en C

- incrémentation
  - post-incrémentation : `i++` incrémente `i` d'une unité,
    après évaluation de l'expression
    `p=2; n=p++;` donne n=2 et p=3
  - pré-incrémentation : `++i` incrémente `i` d'une unité,
    avant évaluation de l'expression
    `p=2; n=++p;` donne n=3 et p=3
- décrémentation
  - post-décrémentation : `i--` décrémente `i` d'une unité,
    après évaluation de l'expression
    `p=2; n=p--;` donne n=2 et p=1
  - pré-décrémentation : `--i` décrémente `i` d'une unité,
    avant évaluation de l'expression
    `p=2; n=--p;` donne n=1 et p=1

3.6 Opérateurs d'affectation composée en C

Opérateurs binaires :

lvalue opérateur = expression $\Rightarrow$ **lvalue = lvalue opérateur expression**

Exemples :

`j += i`	$\Rightarrow$ `j = j + i`
`b *= a + c`	$\Rightarrow$ `b = b * (a + c)`

3.7 Opérateur d'alternative en C

Opérateur ternaire :

exp1 ? exp2 : exp3 $\Rightarrow$ si **exp1** est vraie, **exp2**
sinon **exp3**

Exemple :

`c = (a>b) ? a : b` affecte le max de `a` et `b` à `c`

3.8 Opérateurs agissant sur les bits

Le langage C possède des opérateurs de bas niveau travaillant directement sur les champs de bits.

	signification
~expr	négation
expr1 & expr2	et
expr1 | expr2	ou
expr1 ^ expr2	ou exclusif
expr1 << expr2	décalage à gauche de **expr2** bits
expr1 >> expr2	décalage à droite de **expr2** bits

3.9 Opérateur sizeof en C

Taille en octets d'un objet ou d'un type (résultat de type `size_t`).

Cet opérateur permet d'améliorer la portabilité des programmes.

`sizeof` `(`**identificateur**`)`

```
size_t n1; double a;
n1 = sizeof(a);
```

`sizeof``(`**type**`)`

```
size_t n2;
n2 = sizeof(int);
```

3.10 Opérateur séquentiel , en C

expr1 , expr2 permet d'évaluer successivement les expressions **expr1** et **expr2**.

Utilisé essentiellement dans les structures de contrôle (`if`, `for`, `while`).

3.11 Opérateurs & et * en C

&objet $\Rightarrow$ adresse de l'objet

***pointeur** $\Rightarrow$ valeur pointée (indirection)

3.12 Priorités des opérateurs en C

— opérateurs sur les tableaux, fonctions, structures : `[]`, `()`, `->`, `.`

— opérateurs unaires `+`, `-`, `++`, `--`, `!`, `~`, `*`, `&`, `sizeof`, (cast)

— opérateurs algébriques `*`, `/`, `%`

— opérateurs algébriques `+`, `-`

— opérateurs de décalage `<<`, `>>`

— opérateurs relationnels `<`, `<=`, `>`, `>=`

— opérateurs relationnels `==`, `!=`

— opérateurs sur les bits `&`, puis `^`, puis `|`

— opérateurs logiques `&&`, puis `||`

— opérateur conditionnel `? :`

— opérateurs d'affectation `=` et les affectations composées

— opérateur séquentiel `,`

$\Rightarrow$ indiquer les priorités avec des parenthèses !

4 Entrées et sorties standard élémentaires

4.1 Généralités

Ecriture sur `stdout` = écran :

`printf``("format", `***`liste d'expressions`***`)`

⇒ afficher à l'écran (`stdout`) des messages et les valeurs des variables

Lecture depuis `stdin` = clavier :

`scanf``("format", `***`liste d'adresses`***`)`

⇒ lire du clavier (`stdin`) les valeurs des variables

⇒ stocker ces valeurs aux **adresses** spécifiées par les arguments

Attention : opérateur adresse **`&`** dans `scanf` (en général).

Format : spécifier le type par **`%`** de chaque variable

(gabarit optionnel)

Spécifier **`\n`** en sortie pour changer de ligne

```c
/* programme printf_scanf.c */
#include <stdio.h> /* contient printf et scanf */
#include <stdlib.h>

int main(void) {
  int i;
  float x;
  double y;
  printf("Entrer un entier\n");
/* Ne pas oublier l'opérateur adresse dans scanf ! */
  scanf("%d", &i);
  printf("La valeur de i est %d\n", i);

  printf("Entrer deux réels: float, double\n");
  scanf("%g %lg", &x, &y);
/* Différence de format scanf/printf pour les flottants !*/
  printf("Les valeurs de x et y sont %g et %g\n", x, y);

  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

4.2 Formats d'affichage en C

Attention : quelques différences entre `scanf` (type exact) et `printf` (conversion de type possible)

En sortie `printf`

Type	Format
`char`	`%c`
chaîne	`%s`
`int/short`	`%d`
`unsigned int/unsigned short`	`%ud` (`%o`, `%x`)
`long`	`%ld`
`unsigned long`	`%lu` (`%lo`, `%lx`)
`long long`	`%lld`
`unsigned long long`	`%llu`
`float/double`	(`%e`, `%f`) `%g`
`long double`	(`%le`, `%lf`) `%lg`

En entrée `scanf`

Type	Format
`char`	`%c`
`short`	`%hd`
`unsigned short`	`%hu` (`%ho`, `%hx`)
`int`	`%d`
`unsigned int`	`%u` (`%o`, `%x`)
`long`	`%ld`
`unsigned long`	`%lu` (`%lo`, `%lx`)
`long long`	`%lld`
`unsigned long long`	`%llu` (`%llo`, `%llx`)
`float`	(`%e`, `%f`) `%g`
`double`	(`%le`, `%lf`) `%lg`
`long double`	(`%Le`, `%Lf`) `%Lg`

4.3 Gabarits d'affichage en C

4.3.1 Cas des entiers

Structure générale : `%wd` où **`w`** est le gabarit d'affichage.

Le gabarit est un nombre qui indique la largeur minimale du champ d'affichage.

Exemple : `%5d` $\rightarrow$ au moins 5 caractères sont réservés à l'affichage de l'entier.

4.3.2 Cas des flottants

Structure générale : `%w.pf` où **`w`** indique la largeur minimale du champ d'affichage (incluant le point décimal) dont **`p`** caractères sont réservés à la partie décimale (précision).

Exemple : `%5.3f` $\rightarrow$ 5 caractères sont réservés à l'affichage du flottant dont 3 pour la partie décimale.

5 Structures de contrôle

Par défaut : exécution des instructions une fois,
dans l'ordre dans lequel elles apparaissent dans le code source

$\Rightarrow$ trop restrictif.

Structures de contrôle (*flow control* en anglais) : permettent de modifier le cheminement lors de l'exécution des instructions.

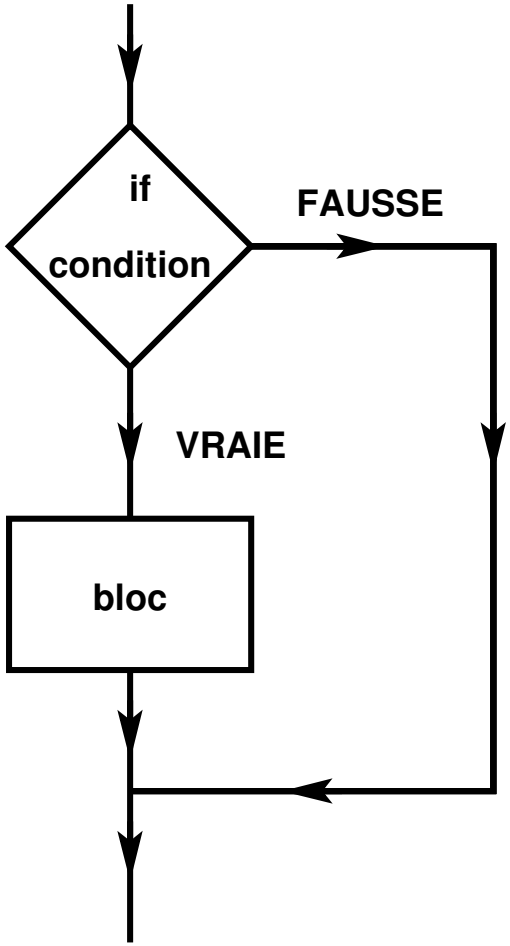
Différents types de structures de contrôle :

- exécution conditionnelle (**`if`**) ou aiguillage (**`switch`**) dans les instructions,
- itération de certains blocs (**`while`**, **`for`**)
- branchements (**`break`**, **`continue`**)

Elles peuvent être **combinées** au sein d'un même programme.

5.1 Structure `if`

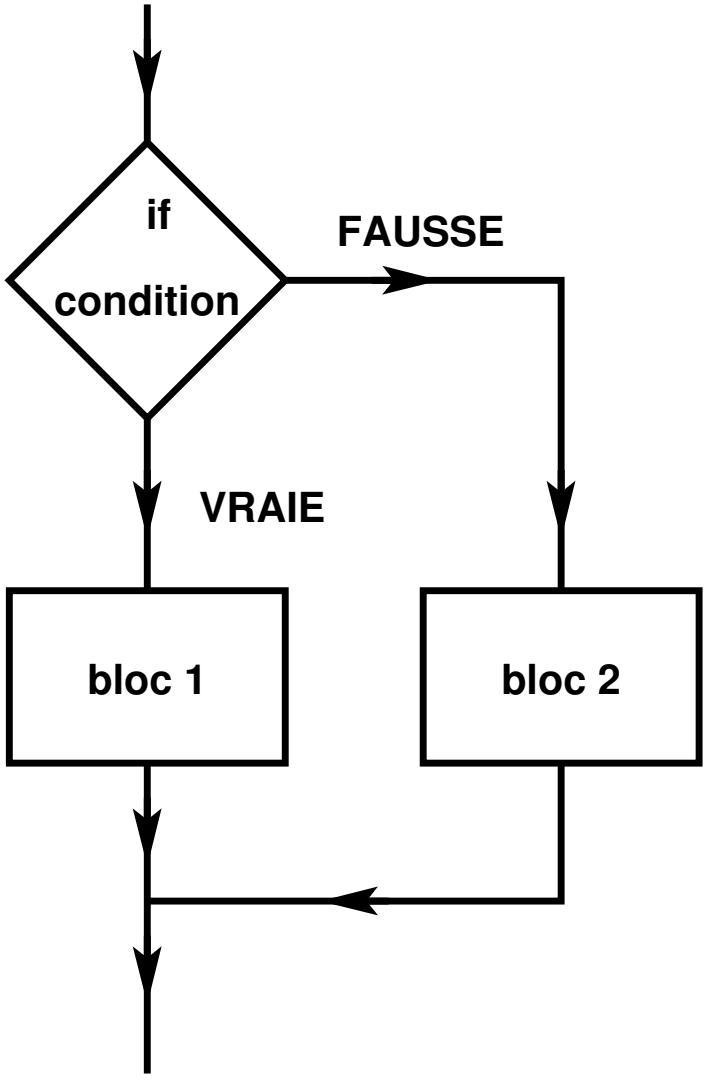
Permet de **choisir** quelles instructions vont être exécutées :




```
if (expression){
   bloc d'instructions;
  /* si l'expression est vraie */
}
```

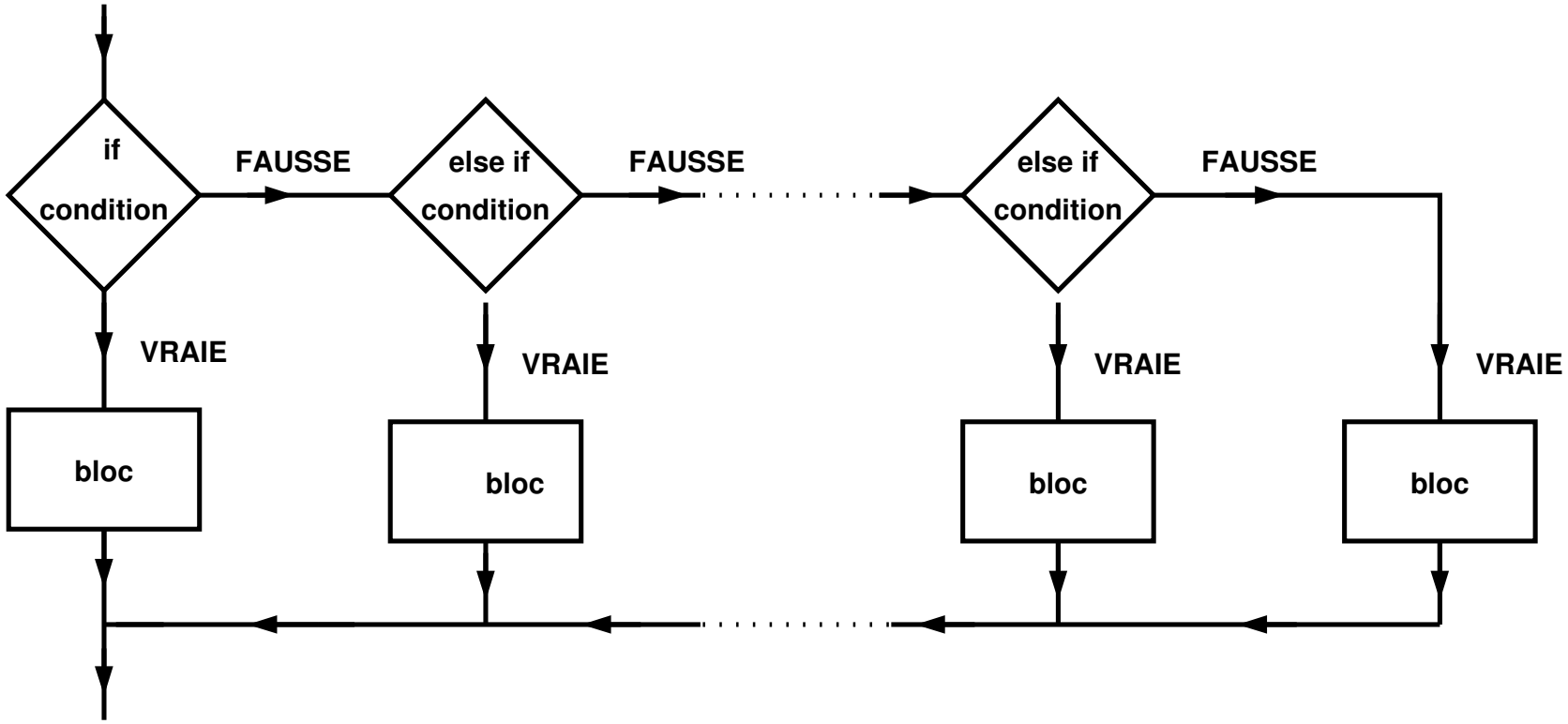
(expression :

- vraie si elle est !=0
- fausse si elle est ==0)




```
if(expression){
  bloc d'instructions 1;
  /* si l'expression est vraie */
}
else {
  bloc d'instructions 2;
  /* si l'expression est fausse */
}
```

Des **`if`** `{...}` **`else`** `{...}` peuvent être imbriqués :



```
if (expression_1){
  /* si expression_1 est vraie */
}
else {
  if (expression_2){
    /* si expression_1 est fausse et expression_2 est vraie */
  }
  else {
    /* si expression_1 et expression_2 sont fausses */
  }
}
```

Attention dans ce cas à bien **respecter l'indentation** pour montrer la structuration du programme.

5.1.1 Exemple de if

```c
/* programme if.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* structure   if ... else
   affichage du max de deux nombres */
int main(void){
  int i, j, max;
  printf("entrer i et j (entiers)\n");
  scanf("%d %d", &i, &j);

  if (i >= j) { /* bloc d'instructions */
    printf(" i >= j \n");
    max = i;
  }
```

```
    else {        /* bloc d'instructions */
      max = j;
    }
    printf(" i= %d, j= %d, max = %d\n", i, j, max);

    exit(0);
}
```

5.2 Structure `switch` (pas avec des flottants)

Aiguillages multiples :

```
switch (expression_entière) {
  case sélecteur1 :
    instructions; /* si expression == selecteur1 */
    break;        /* optionnel */
  case sélecteur2 :
    instructions; /* si expression == selecteur2 */
    break;        /* optionnel */
...
  default :       /* optionnel */
    instructions; /* dans tous les autres cas */
}
```

sélecteur : une expression constante entière ou caractère (ex : `3` ou `'z'`)

Si on ne précise pas **break**, on passe par toutes les instructions **suivant** le cas sélectionné.

5.2.1 Exemples de switch-case

```c
/* programme case.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/* structure switch case */
int main(void)
{
  int i ;
  printf(" entrer un entier : ");
  scanf("%d", &i);
  printf("\n i = %d \n", i);
  switch (i) {    /* début de bloc */
    case 0 :
      printf(" i vaut 0 \n");
```

```
      break;      /* necessaire ici ! */
    case 1 :
      printf(" i vaut 1 \n");
      break;      /* necessaire ici ! */
    default :
      printf(" i différent de 0 et de 1 \n");
  }               /* fin de bloc */
exit(0);
}
```

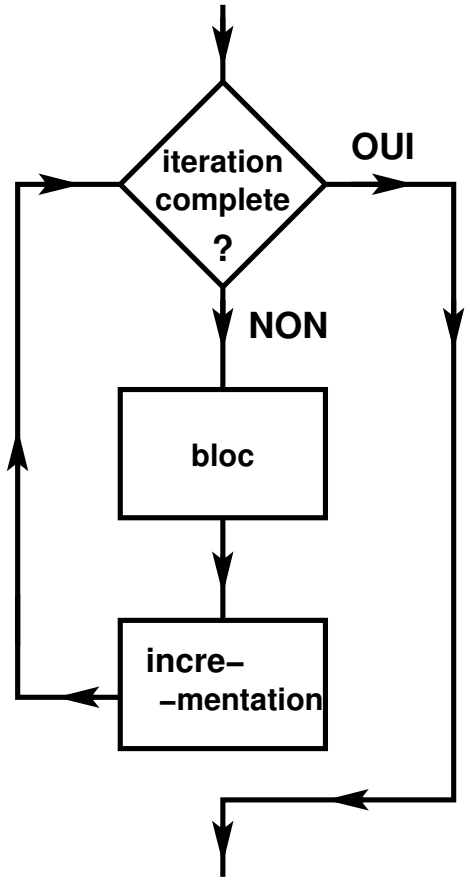
```c
/* programme case1.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* exemple d'utilisation de la structure case sans break
 * pour "factoriser des cas" et les traiter en commun
 */
int main(void)
{
  char c ;
  printf("entrer un caractère: est-ce une ponctuation double ?");
  scanf("%c", &c);
  printf("\n caractère = %c \n", c);
  switch (c) {
    case '?' :
    case '!' :
    case ';' :
```

```
    case ':' :
      printf("ponctuation double \n");
      break ;
    default :
      printf("autre caractère \n");
  }
  exit(0) ;
}
```

5.3 Structures itératives ou boucles

Elles permettent de répéter plusieurs fois un bloc d'instructions.

5.3.1 Boucle définie (`for`)



Quand le nombre de répétitions est connu, on utilise **for** :

```
for (expr-1; expr-2; expr-3) {
   instructions ;
}
```

boucle	`for (expr-1; expr-2; expr-3) {`
	`  instructions ;`
	`}`

— `expr-1` est effectué une fois avant l'entrée dans la boucle (généralement initialisation d'un compteur de tours)

— `expr-2` est une condition "tant que", évaluée à chaque début de répétition (généralement test sur le compteur de tour)

— `expr-3` est effectué à la fin de chaque répétition (généralement incrémentation du compteur de tours)

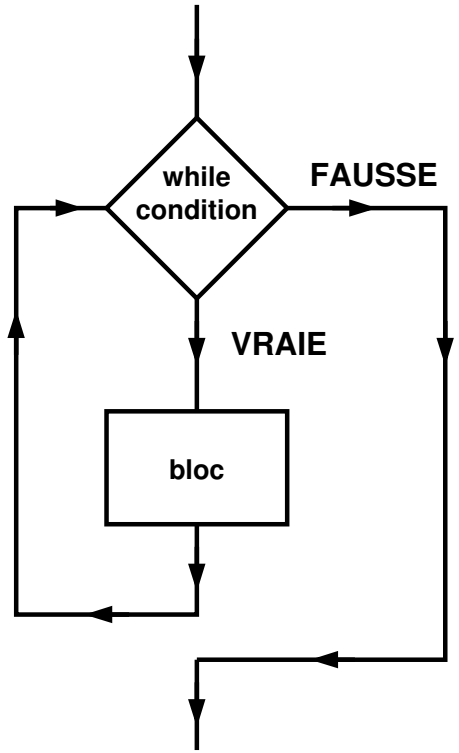
5.3.2 Exemple de boucle `for`

```c
/* programme for.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* affichage des entiers impairs inférieurs à un entier donné
   mise en oeuvre de la structure "for" */
int main(void){
  int i, m = 11;
  printf("affichage entiers impairs <= %d \n", m);

  for (i = 1; i <= m; i = i + 2){ /*bloc d'instructions repetees*
    printf("%d \n", i);
  }
  exit(0);
}
```

5.3.3 Boucle indéfinie (`while` et `do...while`)

Quand le nombre de répétitions (itérations) est a priori inconnu, on utilise **while** (ou **do...while**) :




```
while (expr) {
 instructions ;
}
```

tant que	**while** (expr) {
	instructions ;
	}

faire ... tant que	**do** { instructions ; } **while** (expr)**;**

— Dans le cas de la boucle **while** :

les instructions sont répétées "**tant que**" `expr` est vraie.

— Dans le cas de la boucle **do...while** :

les instructions sont exécutées **au moins** une fois,

puis répétées "tant que" `expr` est vraie.

Attention aux boucles infinies si `expr` est toujours vraie.

5.3.4 Exemple de boucle `while`

```c
/* programme while.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* mise en oeuvre de la structure "while"          */
int main(void){
  int i, m = 11 ;
  printf("affichage entiers impairs <= %d \n", m);
  i = 1 ;
  while ( i <= m ) {     /* bloc d'instructions repetees*/
    printf(" %d \n", i);
    i += 2;
  }
  exit(0) ;
}
```

5.4 Branchements

Les branchements permettent de modifier le comportement des boucles.

bouclage anticipé	`continue;`
sortie anticipée	`break;`
branchement	`goto étiquette;`

L'étiquette est un identificateur suivi de `:` en tête d'instruction.

5.4.1 Exemple de `continue`

```c
/* programme recycle.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* recyclage anticipé  via "continue" */
int main(void)
{
int i = 0 , m = 11;
while ( i < m ) {
   i++;
   if ((i % 2) == 0 ) continue ; /* rebouclage si i pair */
   printf("%d \n", i) ;
}
exit(0) ;
}
```

5.4.2 Exemple de `break`

```c
/* programme break.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void){ // utilisation de break
  int i = 1, m = 11 ;
  while (1) {          /* a priori boucle infinie */
    printf(" %d \n", i);
    i += 2;
    if (i > m) {
       break; // sortie de la boucle
    }
  }
  exit(0) ;
}
```

6 Introduction aux pointeurs

6.1 Intérêt des pointeurs

Motivation :

En C, les pointeurs sont **indispensables**, notamment pour leur utilisation en lien avec les fonctions (mais aussi tableaux, allocation dynamique, etc.)

Définition :

Les pointeurs sont des variables **contenant l'adresse** d'autres variables d'un type donné.

Finalité :

Un pointeur permet d'agir **indirectement** sur une variable : *via son adresse*,
au lieu d'agir **directement** sur la variable : *via son identifiant*.

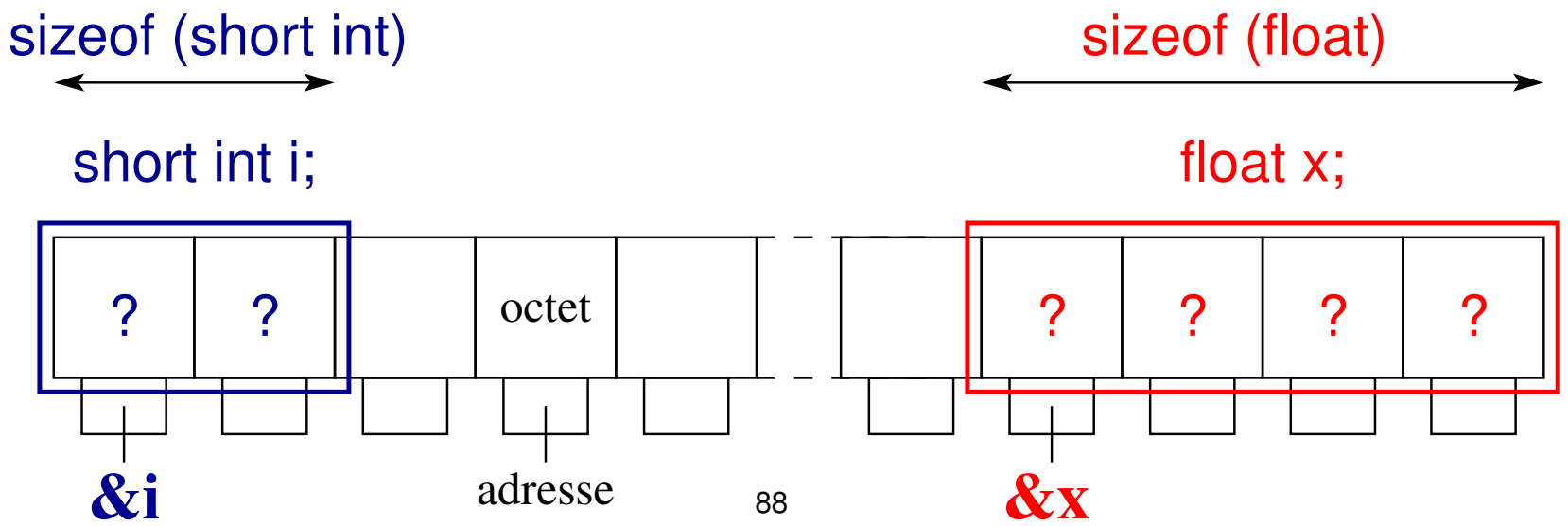
6.2 Déclaration et affectation

6.2.1 Déclaration d'une variable ordinaire (rappel)

`short int i; float x;` ⇒ réservation d'une **zone mémoire** :

— sa **taille** : dépend du type de la variable déclarée
(`sizeof(type)` : taille en octets du type `type`)

— son **emplacement** : adresse du premier octet sur lequel la variable est stockée
(`&var` : adresse de la variable `var`)

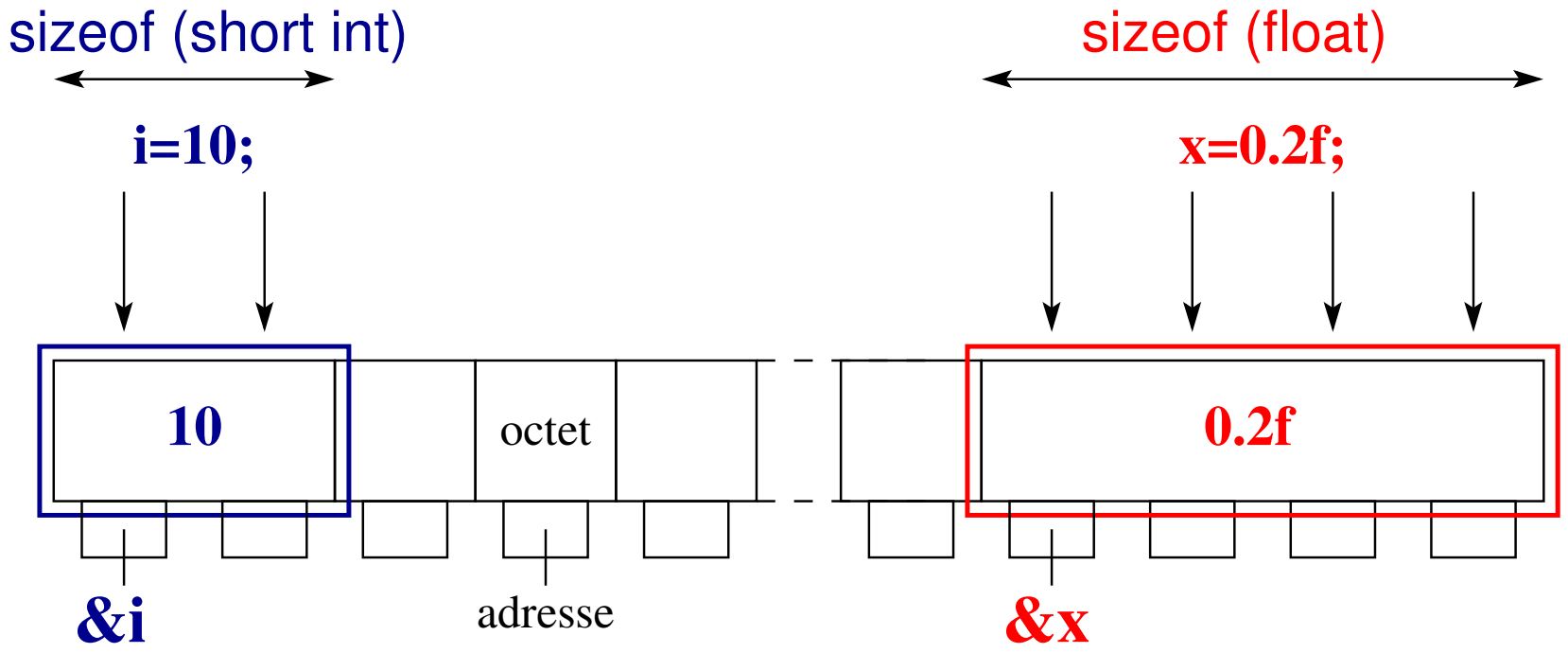


6.2.2 Affectation d'une variable ordinaire (rappel)

```
i=10; x=0.2f;
```

= stocker la valeur dans la zone mémoire réservée.

Attention : avant initialisation (= première affectation) la valeur d'une variable est indéterminée



Pour simplifier : représentation binaire des variables stockées n'est pas montrée.

6.2.3 Déclaration d'un pointeur

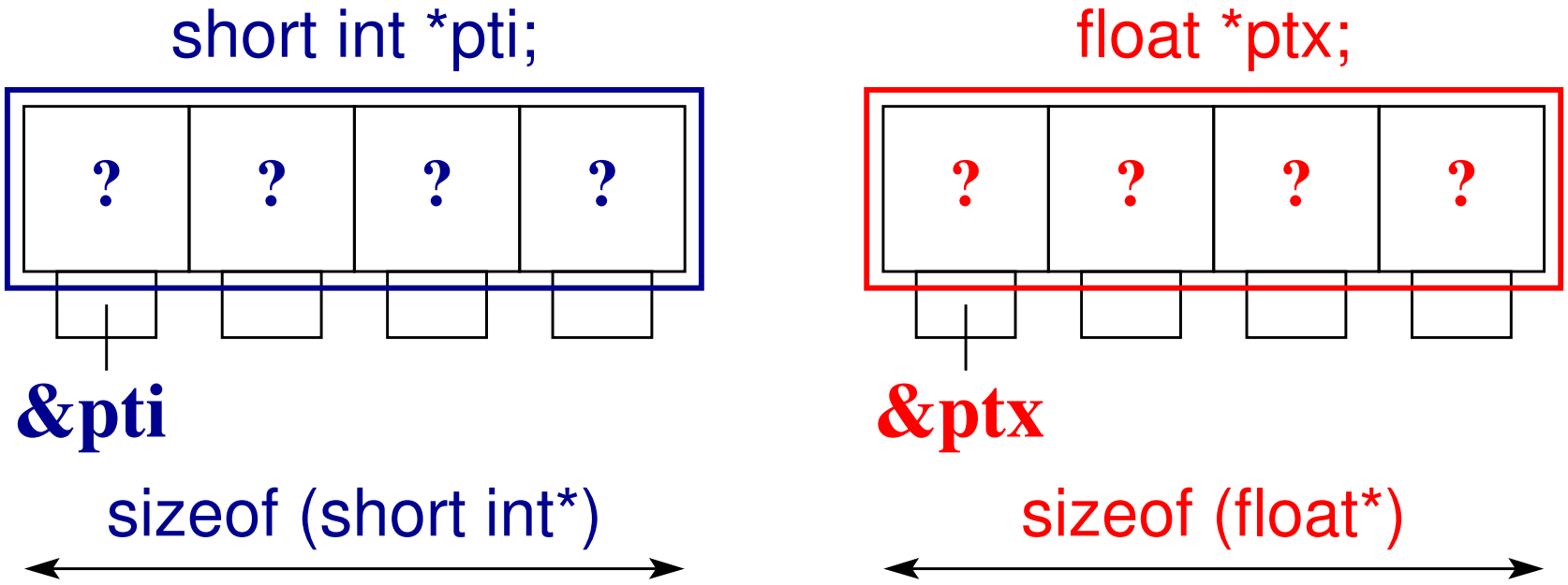
```
short int *pti; float *ptx;
```

= réservation d'une zone mémoire pour stocker **l'adresse de la variable pointée**

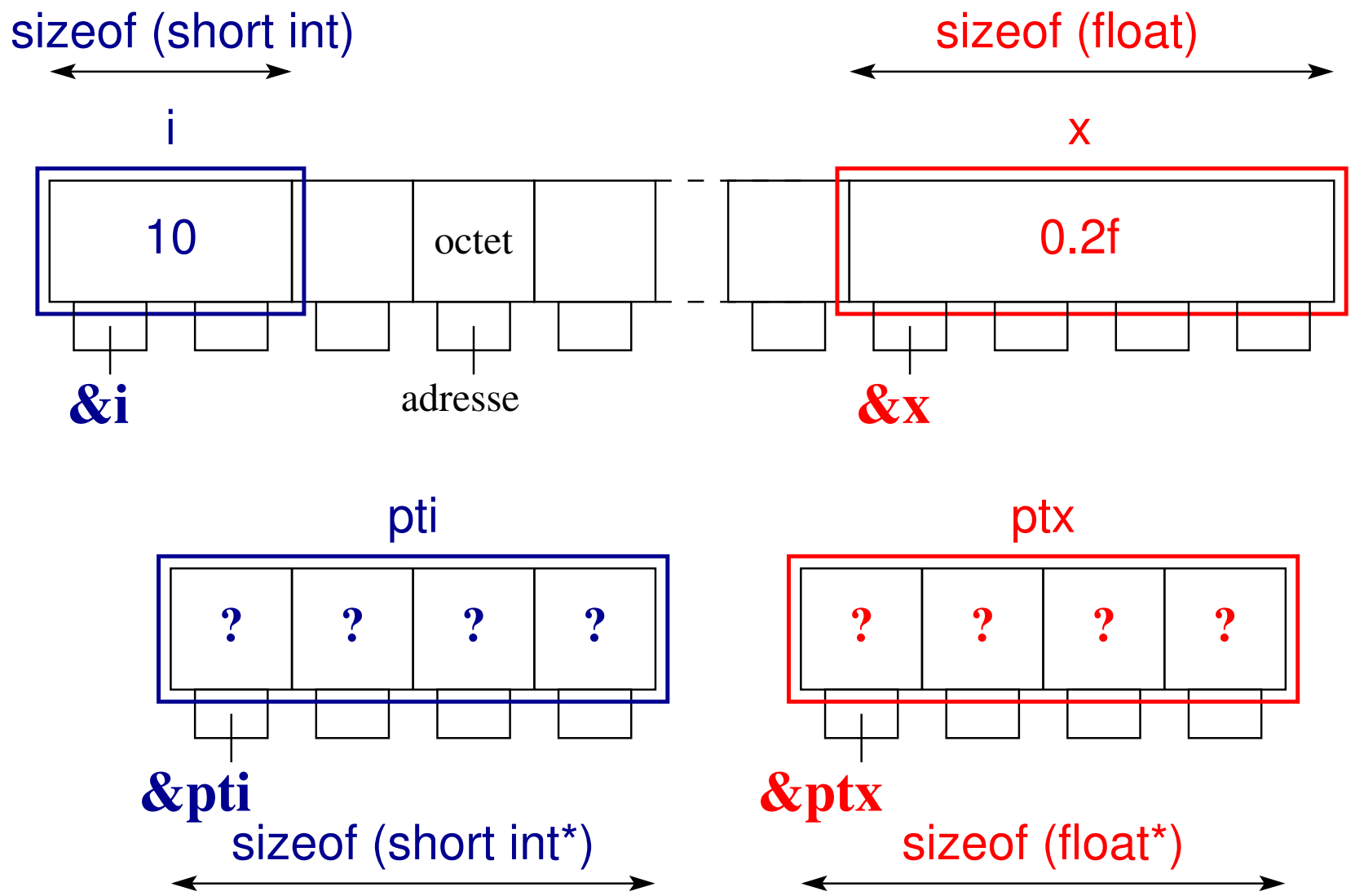
Remarques :

— comme toute autre variable un pointeur possède lui-même une adresse

— contrairement aux variables ordinaires la taille d'un pointeur est fixe
(elle ne dépend pas du type de la variable pointée)


short int *pti;
? ? ? ?
&pti
sizeof (short int*)
float *ptx;
? ? ? ?
&ptx
sizeof (float*)

Visualisation des pointeurs et des variables ordinaires :



6.2.4 Affectation d'un pointeur

Affecter une adresse à un pointeur :

```
pti=&i; ptx=&x;
```

= stocker l'adresse mémoire d'une variable dans la zone mémoire réservée lors de la déclaration du pointeur.

On dit que :

(le pointeur) **`pti`** **pointe sur** (la variable) **`i`**,

(le pointeur) **`ptx`** **pointe sur** (la variable) **`x`**.

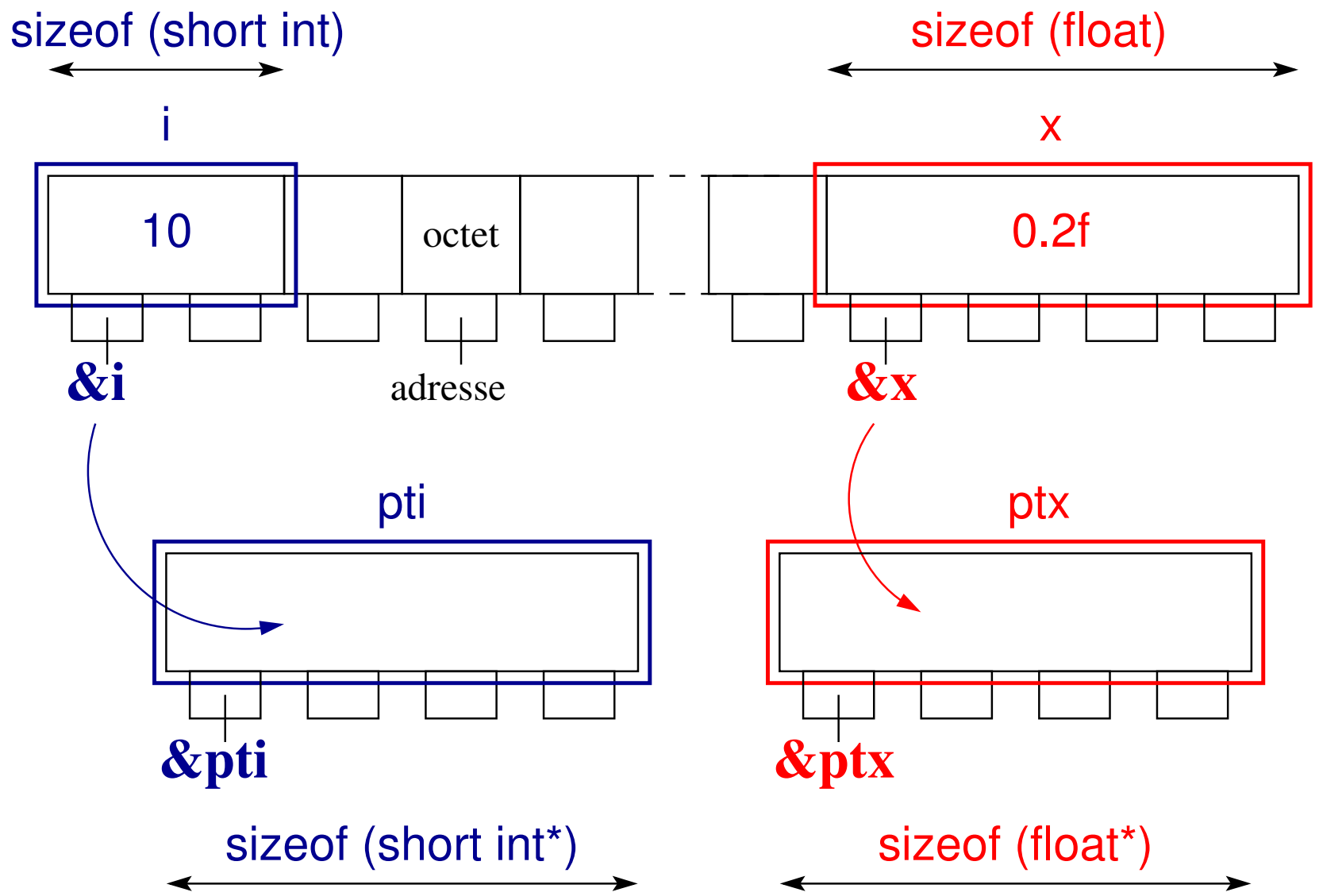
Attention :

— il faut que les variables `i` et `x` aient été déclarées au préalable.

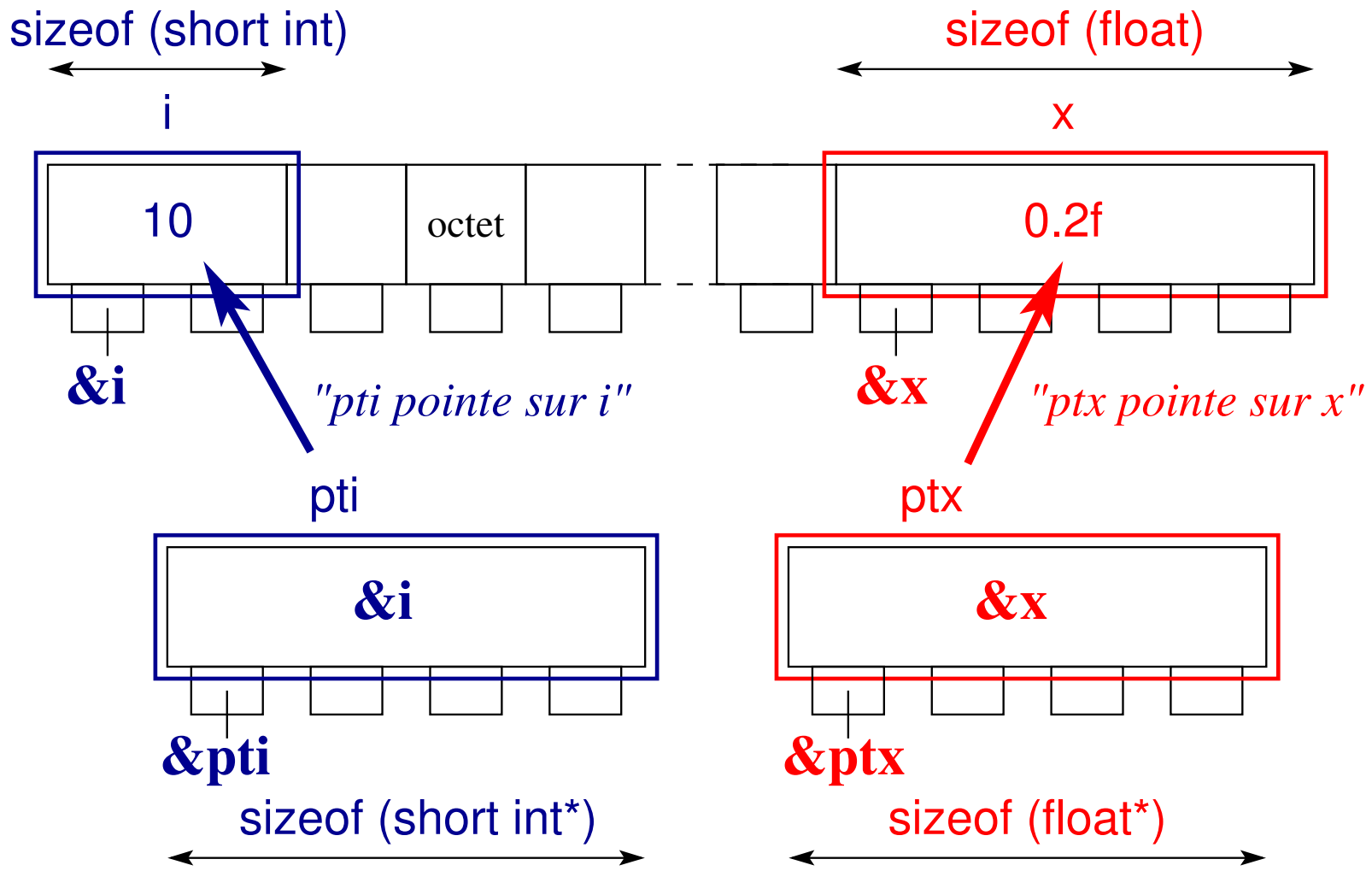
— comme pour une variable ordinaire l'adresse contenue dans le pointeur est indéterminée avant l'initialisation du pointeur

$\Rightarrow$ **initialiser un pointeur avant de le manipuler** (cf. dissociation)

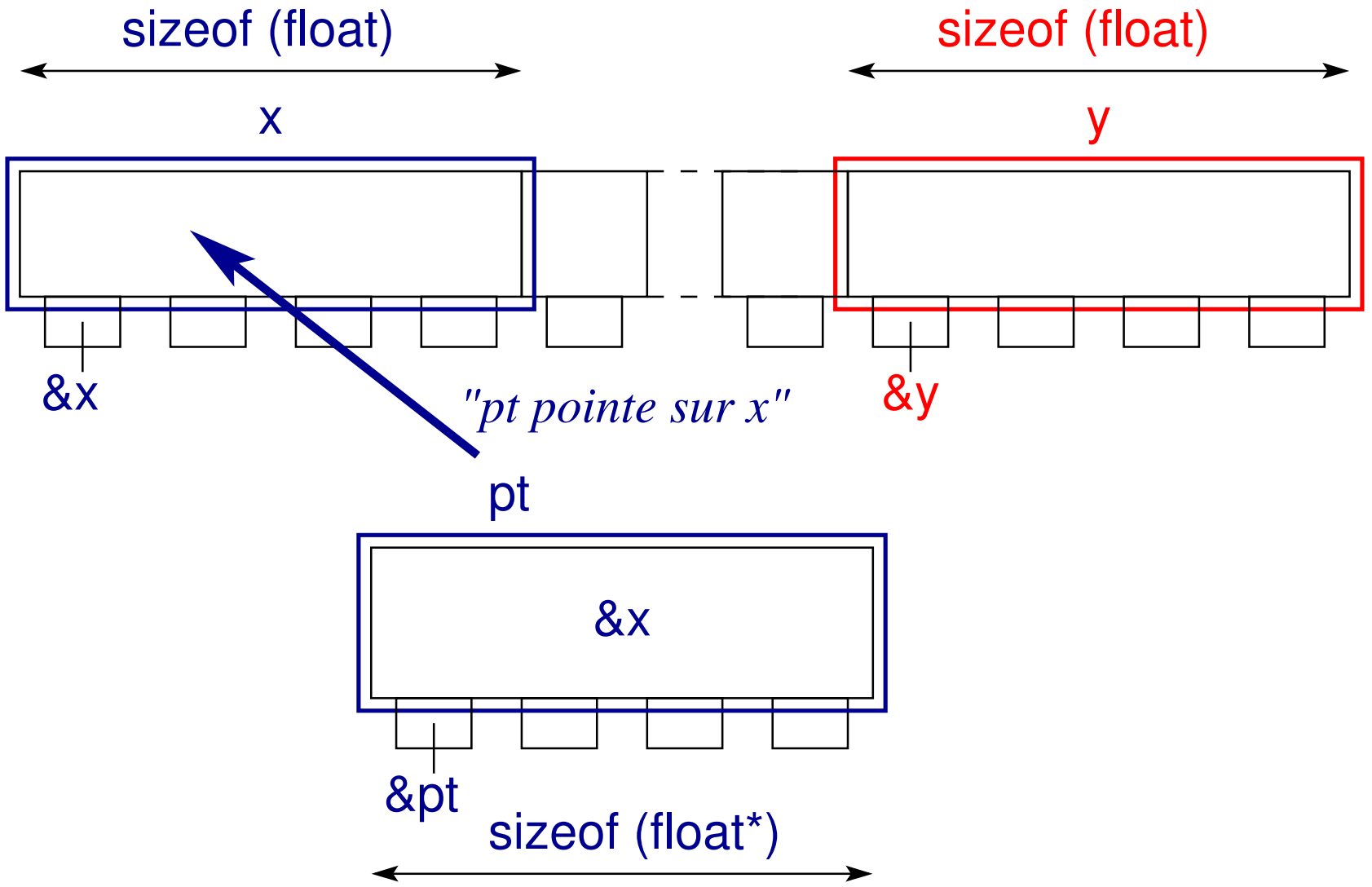
Visualisation de l'affectation des pointeurs : **`pti=&i; ptx=&x;`**



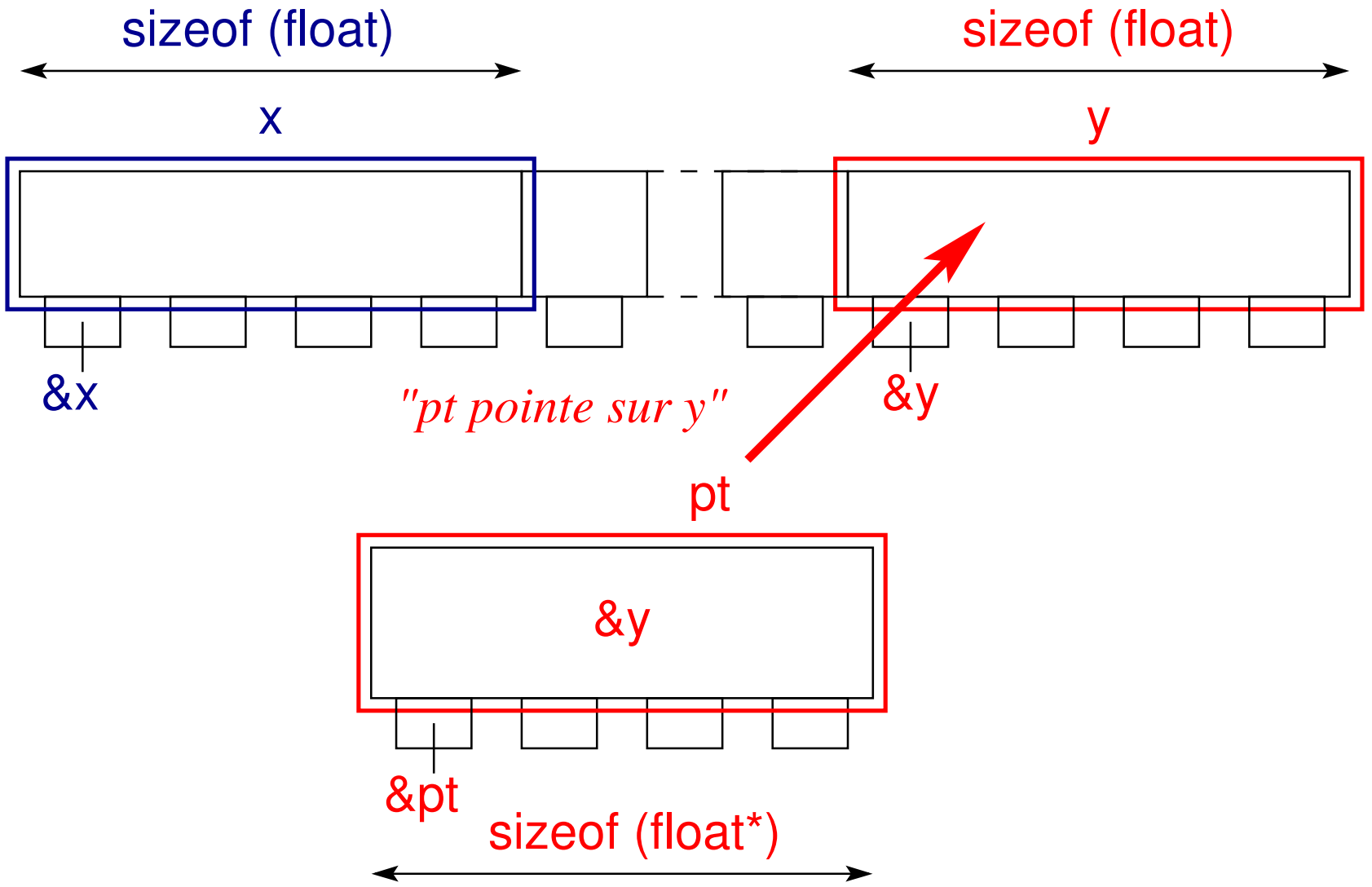
Visualisation après affectation (`pti` **pointe sur** `i` et `ptx` **pointe sur** `x`) :



Affectation d'un pointeur de float : `pt=&x;` (`pt` pointe sur `x`)



Re-affectation d'un pointeur de float : `pt=&y;` (`pt` pointe sur `y`)



6.3 Indirection (opérateur $*$)

L'indirection est l'opération permettant d'**accéder à la variable pointée** via le pointeur (donc indirectement).

```
*pti=4;
```

La variable sur laquelle pointe `pti` vaut désormais `4`.

Remarque : cette opération est désastreuse si le pointeur n'a pas été initialisé
$\Rightarrow$ modification non-volontaire d'une variable, accès à une zone mémoire interdite (**`segmentation fault`**)

La déclaration d'un pointeur :

```
double *ptd;
```

peut se lire **`*ptd`** est un **`double`**

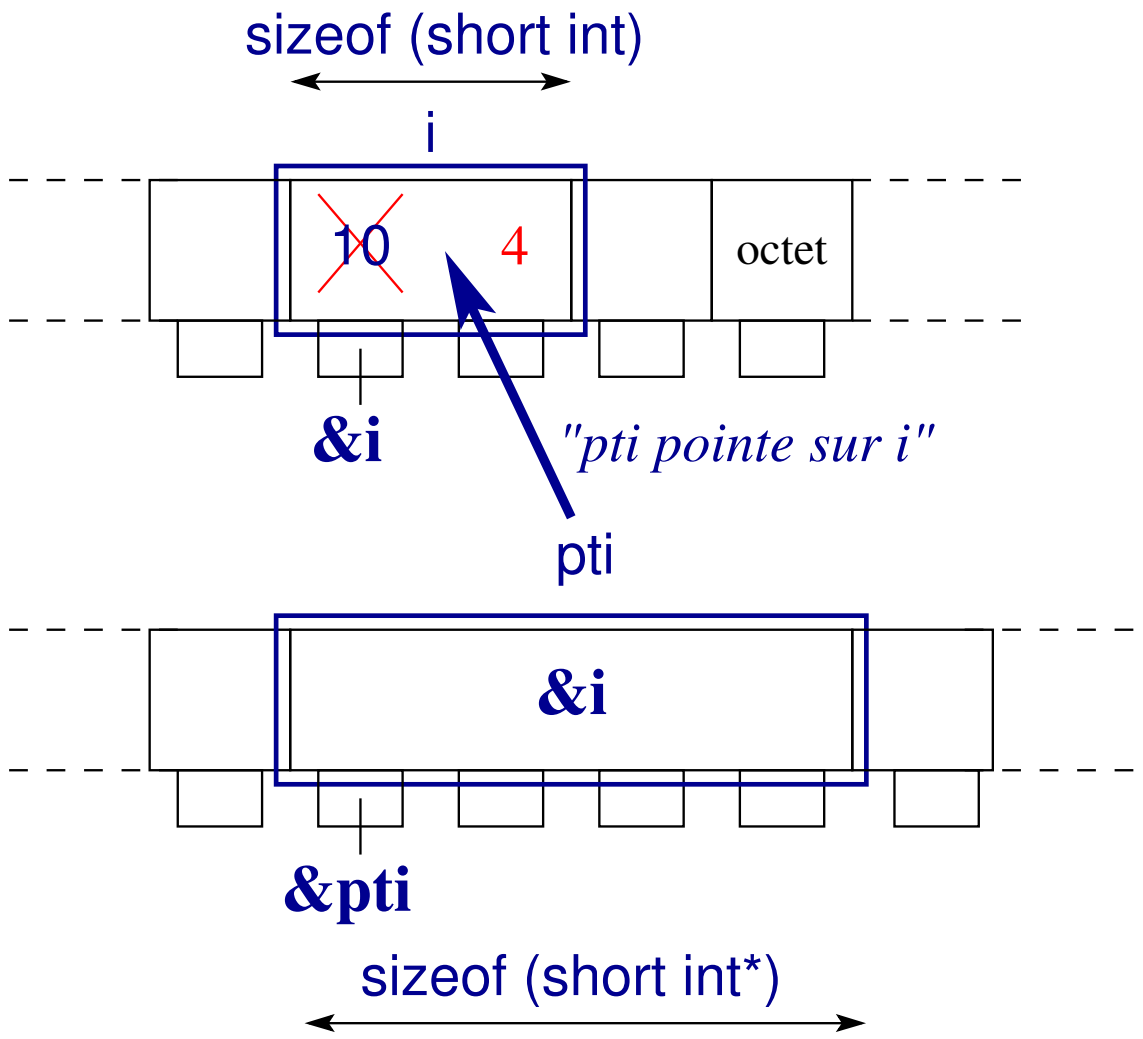
```c
/* programme indirection.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* modification de la valeur d'une variable */
int main(void) {
  short int i;         /* declaration de i */
  short int *pti=&i; /* declaration + affectation de pti */

  i=10;  /* initialisation de i par acces direct */
  printf("La valeur initiale de i est %d\n", i);

  *pti=4; /* modification indirecte de i */
  printf("La valeur finale de i est %d\n", i);

  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Visualisation de la modification indirecte d'une variable (`*pti=4;`) :



6.4 Initialisation des pointeurs et dissociation

Déclarer un pointeur sans l'initialiser peut entrainer des erreurs.

La dissociation permet de dissocier un pointeur de la variable vers laquelle il pointe :

```
*pt=NULL;
```

$\Rightarrow$ à utiliser lors de l'initialisation par défaut des pointeurs.

```c
/* programme erreur-pointeur.c */
/* exemple de pointeur non initialisé => erreur d'accès mémoire */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void){
int i;
/* suivant l'ordre *pi, *pj => ?  mais *pj, *pi => pj=0 erreur */
int *pj, *pi;
pi = &i; /* pi devient l'adresse de l'entier i */
/* affichage des valeurs des pointeurs pi et pj */
printf("pi=%lu, pj=%lu\n", (unsigned long int) pi,
                           (unsigned long int) pj);
/* accès à une zone interdite quand on affecte 2 à l'adresse pj */
*pj = 2;      /* segmentation fault */
i = 1;
printf("i= %d, *pi= %d , *pj= %d\n", i, *pi, *pj);
exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

6.5 Bilan concernant la syntaxe des pointeurs

`type *ptr;`	déclaration sans initialisation (**déconseillé**)
`type *ptr=NULL;`	déclaration avec initialisation (**conseillé**)
`type var;`	cible
`type *ptr=&var;`	déclaration avec initialisation (**conseillé à condition que la cible ait déjà été déclarée**)
`ptr = &var ;`	`ptr` pointe sur `var`
`*ptr`	variable pointée par `ptr`
`ptr = NULL ;`	dissocier

6.6 Tailles des types de base et adresses en C

```
-----------------------------------------------------------------
Processeur 32 bits AMD
-----------------------------------------------------------------
Tailles en octets via sizeof :
 char =        1  short int =   2  int =         4  long int =    4
Adresses converties en unsigned long int :
   c =3219368569    s =3219368562    i =3219368548    l =3219368536
&c[0]=3219368569 &s[0]=3219368562 &i[0]=3219368548 &l[0]=3219368536
&c[1]=3219368570 &s[1]=3219368564 &i[1]=3219368552 &l[1]=3219368540
&c[2]=3219368571 &s[2]=3219368566 &i[2]=3219368556 &l[2]=3219368544

Tailles en octets via sizeof :
 float =       4  double =      8  long double = 12  int * =    4
Adresses converties en unsigned long int :
   f =3219368524    d =3219368496    L =3219368448    pi =3219368436
&f[0]=3219368524 &d[0]=3219368496 &L[0]=3219368448 &pi[0]=3219368436
&f[1]=3219368528 &d[1]=3219368504 &L[1]=3219368460 &pi[1]=3219368440
&f[2]=3219368532 &d[2]=3219368512 &L[2]=3219368472 &pi[2]=3219368444
```

```
-----------------------------------------------------------------
Processeur 64 bits AMD
-----------------------------------------------------------------
Tailles en octets via sizeof :
 char =        1  short int =   2  int =         4  long int =    8
Adresses converties en unsigned long int :
   c =140735477551008    s =140735477550992    i =140735477550976    l =140735477550944
&c[0]=140735477551008 &s[0]=140735477550992 &i[0]=140735477550976 &l[0]=140735477550944
&c[1]=140735477551009 &s[1]=140735477550994 &i[1]=140735477550980 &l[1]=140735477550952
&c[2]=140735477551010 &s[2]=140735477550996 &i[2]=140735477550984 &l[2]=140735477550960

Tailles en octets via sizeof :
 float =       4  double =      8  long double = 16  int * =    8
Adresses converties en unsigned long int :
   f =140735477550928    d =140735477550896    L =140735477550848    pi =140735477550816
&f[0]=140735477550928 &d[0]=140735477550896 &L[0]=140735477550848 &pi[0]=140735477550816
&f[1]=140735477550932 &d[1]=140735477550904 &L[1]=140735477550864 &pi[1]=140735477550824
&f[2]=140735477550936 &d[2]=140735477550912 &L[2]=140735477550880 &pi[2]=140735477550832
```

7 Fonctions en C

7.1 Généralités

En C, les fonctions sont **indispensables** :

$\Rightarrow$ la fonction principale `main` existe obligatoirement.

Une fonction sert à :

- rendre un programme plus lisible,
- factoriser des opérations répétitives.

Une fonction en C est proche d'une fonction mathématique :

- elle admet une **liste d'arguments formels**,
- elle renvoie une valeur,

  le type de la fonction correspond au type de la **valeur de retour**.

Distinguer :

- arguments **formels** ou **muets** (*dummy*) dans la définition de la fonction,
- arguments **effectifs** dans l'appelant.

7.2 Définition d'une fonction

Toute fonction possède un entête et un corps et est de la forme :

```
type_retour  nom_fonction(type1 arg1, type2 arg2, ...)
{
   /* declaration de variables locales */
   /* liste d'instructions */
   /* instruction de retour avant de quitter la fonction */
}
```

Remarque importante : le C n'autorise pas l'imbrication des fonctions !

$\Rightarrow$ la définition d'une fonction doit être placée en dehors de celle de toute autre fonction.

L'**entête** d'une fonction est de la forme :

```
type_retour  nom_fonction(type1 arg1, ..., typen argn)
```

où :

- `type_retour` est le **type de la valeur de retour de la fonction**,
- `nom_fonction` est l'**identifiant de la fonction**,
- `arg1`, ..., `argn` sont les **arguments formels** (ou **muets**) de la fonction de types respectifs `type1`, ..., `typen`.

Le **corps** d'une fonction est placé entre `{` et `}` :

- il commence par la déclaration de **variables locales à la fonction**,
- il se poursuit par une liste d'instructions propres à la fonction,
- il se termine une **instruction de retour à la fonction appelante** :

  ```
  return expression_de_retour ;
  ```

  où le type de `expression_de_retour` définit celui de la fonction.

7.2.1 Exemples de fonctions renvoyant une valeur

Exemple d'une fonction de nom `fonc`, de type `float`, à un argument de type `int` et ne possédant pas de variable locale :

```
float fonc(int x)    /* entete de la fonction */
{                    /* corps de la fonction  */
  return x/2.f ;     /* instruction de retour */
}
```

Remarque importante : le corps d'une fonction doit au moins contenir une instruction de retour

Exemple d'une fonction de nom `som`, de type `int`, à un argument de type `const int` et possédant deux variables locales `i` et `s` de type `int` :

```
int som(const int p)  /* entete de la fonction */
{                     /* corps de la fonction  */
/* somme des p premiers entiers */
  int i , s; /* declaration des variables locales */

  s = 0;      /* liste d'instructions */
  for (i = 0; i <= p; i++){
      s += i;
  }

  return s ;  /* instruction de retour  */
}
```

7.2.2 Exemple d'une fonction sans retour

Une fonction sans retour est une fonction à **effet de bord** (*side effect*)

$\Rightarrow$ de type **void**

```
void som(const int p)  /* entete de la fonction */
{                      /* corps de la fonction  */
/* somme des p premiers entiers */
  int i , s;  /* variables locales */

  s = 0;
  for (i = 0; i <= p; i++){
      s += i;
  }
  /* l'affichage est un effet de bord: */
  printf("Somme des %d premiers entiers: %d\n", p, s) ;

  return ;  /* aucune valeur rendue  */
}
```

7.2.3 Exemple d'une fonction sans argument

Une fonction sans argument est une fonction dont l'argument est de type **void** :

```
int main(void)   /* entete de la fonction */
{                /* corps de la fonction  */

  return 0 ; /* valeur de retour */
}
```

7.3 Appel d'une fonction

L'appel d'une fonction se fait au moyen de l'expression :

```
nom_fonction(para1, ..., paran)
```

où le nombre, l'ordre (et le type, cf. conversions implicites) des paramètres effectifs : `para1`, ..., doivent correspondre à ceux des arguments formels : `arg1`, ..., donnés dans l'entête de la fonction.

7.3.1 Appel d'une fonction avec retour

Si on exploite la valeur de retour, l'appel se fait au moyen de l'instruction :

```
var = nom_fonction_avec_retour(para1, ..., paran) ;
```

où `var` est une variable du même type que la valeur de retour de la fonction.

7.3.2 Appel d'une fonction sans retour

L'appel se fait au moyen de l'instruction :

```
nom_fonction_sans_retour(para1, ..., paran) ;
```

7.3.3 Appel d'une fonction sans argument

Il faut garder les parenthèses suivant le nom de la fonction.

Fonction avec retour : l'appel se fait, en général, au moyen de l'instruction :

```
var = nom_fonction_sans_argument() ;
```

où `var` est une variable du même type que la valeur de retour de la fonction.

Fonction sans retour : l'appel se fait au moyen de l'instruction :

```
nom_fonction_sans_argument() ;
```

7.4 Déclaration d'une fonction

Une fonction doit être déclarée (et/ou définie) avant d'être appelée.

La déclaration permet au compilateur de :

- vérifier la concordance entre le nombre d'arguments dans l'appel et dans la définition,
- de mettre en place des conversions implicites (pour les arguments et la valeur de retour) entre l'appel et la définition.

7.4.1 Déclaration au moyen d'un prototype (méthode conseillée)

Le prototype d'une fonction définit son type, son nom, ainsi que le nombre et le type de ses arguments :

```
type_retour nom_fonction(type1 arg1, ..., typen argn) ;
```

$\Rightarrow$ prototype = entête + `;`

Le prototype doit être placé **avant** la définition de la fonction et (**par ordre croissant de préférence**) :

- au sein d'une fonction $\Rightarrow$ visible uniquement dans cette fonction
- au début du fichier (en dehors de toute fonction) (**conseillé pour les débutants**)
  $\Rightarrow$ visible dans tout le fichier (déclaration globale)
- dans un fichier d'entête (ou $\ll$ include $\gg$), d'extension `.h`, inclus par `#include "fichier.h"`
  $\Rightarrow$ visible dans tous les fichiers qui incluent ce fichier `.h`

La définition peut être placée n'importe où **après** le prototype et **en dehors** de toute autre fonction.

7.4.2 Exemple de déclaration et d'appel d'une fonction

La fonction principale est la fonction appelante :

```
#include <stdio.h>          /* pour les entrées/sorties  */
#include <stdlib.h>         /* par exemple pour exit     */

int som(const int p) ;      /* déclaration de la fonction somme */

int main(void){             /* fonction principale (sans param.) */
  int s ;

  s = som(5) ;          /* appel de la fonction somme  */

  printf("somme entiers de 1 à 5 = %d\n", s);
  printf("somme entiers de 1 à 9 = %d\n", som(9)); /*autre appel*/

  exit(0) ;             /* renvoie à unix un status 0 (OK)  */
}
```

7.4.3 Déclaration au moyen de la définition (méthode déconseillée)

La définition tient lieu de déclaration $\Rightarrow$ définir la fonction avant de l'appeler.

Problème :

cette méthode est d'autant plus limitée que le nombre de fonctions augmente ; une fonction peut en appeler d'autres qui en appellent d'autres, etc.

7.5 Quelques fonctions (standards) du C

7.5.1 La fonction principale : `main`

La fonction **`main`** est la fonction principale d'un programme C :

celle par où le programme débute

$\Rightarrow$ elle existe obligatoirement

L'entête de la fonction principale est généralement de la forme :

```
int main(int argc, char *argv[])
```

— **valeur de retour** du type `int`

$\Rightarrow$ le corps de la fonction doit se terminer par une instruction de retour :

`return 0;` qui renvoie au shell la valeur `0`

ou bien :

`exit(EXIT_SUCCESS);` qui renvoie au shell la valeur `EXIT_SUCCESS` (=`0`)

— **arguments** : reçus de l'interpréteur de commande au lancement de l'exécution.

7.5.2 La fonction `exit`

Fonction de la bibliothèque standard.

La fonction **`exit`** met fin à un processus (l'exécution du programme).

Son prototype est dans le fichier : `stdlib.h`
⇒ directive préprocesseur (compilation) : `#include <stdlib.h>`

Prototype : `void exit(int status) ;`

- valeur de retour du type **`void`**
- argument **`status`** de type **`int`** et dont les valeurs sont généralement :
  - **`0`** ou **`EXIT_SUCCESS`** pour signaler que le programme se termine normalement
  - **`1`** ou **`EXIT_FAILURE`** pour signaler un problème

Remarque : Le fichier `stdlib.h` contient aussi les constantes prédéfinies :

`EXIT_SUCCESS`, `EXIT_FAILURE`, `NULL`, etc...

7.5.3 Les fonctions `printf` et `scanf`

Les fonctions **`printf`** et **`scanf`** sont des fonctions d'entrée-sortie standard.

Leur prototype est dans le fichier : `stdio.h`

$\Rightarrow$ directive préprocesseur (compilation) : `#include <stdio.h>`

Prototypes : `int printf(const char* format, ...) ;`

`int scanf(const char* format, ...) ;`

- valeur de retour du type **`int`**
  - **`printf`** : le nombre de caractères écrits si tout se passe bien ou un nombre négatif en cas d'erreur.
  - **`scanf`** : le nombre de variables effectivement lues si tout se passe bien ou un nombre négatif en cas d'erreur.
- nombre variable d'arguments : **`...`**, dont au moins une chaîne de caractères

Remarque : si on ne s'intéresse pas aux valeurs de retour de ces fonctions, elles peuvent être appelées comme des fonctions sans retour.

7.5.4 Les fonctions mathématiques (`pow`, `fabs`, ...)

Ce sont les fonctions trigonométriques, exponentielles, logarithmiques, etc...

$\Rightarrow$ **importance capitale pour les applications numériques**.

Les prototypes sont contenus :

- **en C89**, dans le fichier de librairie standard **`math.h`**
  $\Rightarrow$ directive préprocesseur (compilation) : `#include <math.h>`
- **en C99**, dans le fichier de librairie standard **`tgmath.h`**
  $\Rightarrow$ directive préprocesseur (compilation) : `#include <tgmath.h>`
  (`tgmath.h` permet d'utiliser le type `complex` absent de `math.h`)

Remarque importante : pour pouvoir utiliser les fonctions de la bibliothèque mathématique il faut utiliser l'option **`-lm`** de `gcc` (édition des liens).

Exemple de la fonction puissance : `pow`

En C, il n'y a pas d'opérateur puissance mais une fonction puissance :

$$x^y \Rightarrow \texttt{pow(x,y)}$$

Prototype : `double pow(double x, double y) ;`

Cette fonction peut être utilisée avec des paramètres de type entier ou float

$\Rightarrow$ le processeur se charge de convertir les paramètres en double

$\Rightarrow$ le résultat est aussi un double

Exemple de la fonction valeur absolue : `fabs`

Fonction renvoyant la valeur absolue d'un nombre réel :

$$|x| \Rightarrow \texttt{fabs(x)}$$

Prototype : `double fabs(double x) ;`

Remarque importante : ne pas confondre `fabs` et `abs`

Prototype de `abs` : `int abs(int i) ;`

7.5.5 Exemple d'un programme utilisant `math.h`

```c
/* programme math_exemples.c */
#include <stdio.h>   /* entrees-sorties */
#include <stdlib.h>  /* exit et EXIT_SUCCESS */
#include <math.h>    /* fonctions mathematiques */

int main(void){
  int i=2;
  double x=-0.5, y;

  y = abs(x);        /* attention: conversion en entier */
  printf("Valeur absolue entiere de %g: %g\n", x, y);

  y = fabs(x);
  printf("Valeur absolue reelle de %g: %g\n", x, y);
```

```
  y = pow(x,(double) i);
  printf(" %g puissance %d = %g\n", x, i, y);

  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Compilation avec :

```
gcc-mni math_exemples.c -lm -o math_exemples.x
```

Résultat de l'exécution :

```
Valeur absolue de -0.5: 0
Valeur absolue de -0.5: 0.5
 -0.5 puissance 2 = 0.25
```

7.5.6 Liste des fonctions mathématiques standards

C89	C99 avec `tgmath.h`	remarques
`l/ll/abs(n)` (i)		`abs` pour les entiers
`f``abs/f/l(a)` (r)	`fabs(a)` (a)	C99 + **`tgmath.h`**
	`cabs(c)` (z) C99 + **`fabs`**	**`complex.h`**
`sqrt/f/l(a)` (r)	`csqrt(a)` (z) **`sqrt`**	
`pow``/f/l(a,b)` (r)	`cpow/f/l(a,b)` (z)**`pow`**	
`exp/f/l(a)` (r)	`cexp/f/l(a)` (z)**`exp`**	
`log/f/l(a)` (r)	`clog/f/l(a)` (z)**`log`**	
`log10/f/l(a)`		
	`cimag/f/l(a)` (z)	C99 +**`complex.h`**
	`conj/f/l(a)` (z) **`conj`**	C99 +**`complex.h`**
`ceil/f/l(a)`	**`ceil`**	résultat flottant
`floor/f/l(a)`	**`floor`**	résultat flottant
`n`**`%`**`p`		opérateur
	`copysign/f/l(a,b)`	

C89	C99 avec `tgmath.h`	remarques
`cos/f/l(a)` (r)	`ccos/f/l(a)` (z) **`cos`**	
`cosh/f/l(a)` (r)	`ccosh(a)` (z) **`cosh`**	
`acos/f/l(a)` (r)	`cacos/f/l(a)` (z) **`acos`**	C99 + **`tgmath.h`**
`sin/f/l(a)` (r)	`csin/f/l(a)` (z) **`sin`**	
`sinh/f/l(a)` (r)	`csinh/f/l(a)` (z) **`sin`**	C99 + **`tgmath.h`**
`asin/f/l(a)` (r)	`casin/f/l(a)` (z) **`asin`**	
`tan/f/l(a)` (r)	`ctan/f/l(a)` (z)**`tan`**	
`tanh/f/l(a)` (r)	`ctanh/f/l(a)` (z) **`tanh`**	C99 + **`tgmath.h`**
`atan/f/l(a)` (r)	`catan/f/l(a)` (z) **`atan`**	
`atan2/f/l(a,b)`	**`atan2`**	

Remarque : accès via le shell à la documentation en ligne au moyen de la commande :

```
man 3 nom_fonction
```

7.6 La portée des variables

La portée (*scope* en anglais) d'une variable correspond à la portion de programme sur laquelle la variable est définie.

Pour un programme donné, on distingue deux cas :

- **variable globale** : variable dont la portée s'étend à l'ensemble du programme,
- **variable locale** : variable dont la portée est limitée à une portion du programme
  (une fonction par exemple, voire un sous-bloc d'une fonctions).

Conseils pratiques :

- les variables globales doivent rester des exceptions
  $\Rightarrow$ **privilégier l'emploi de variables locales**.
- garder les mêmes notations pour les variables globales et locales
  (lettres minuscules)

$\Rightarrow$ réserver les majuscules aux constantes préprocesseur

7.6.1 Variables globales

Une variable globale est déclarée avant toute fonction (**conseillé**)

$\Rightarrow$ portée : ensemble du programme

$\Rightarrow$ **variable dite permanente ou statique** : occupe la même zone mémoire pendant toute l'exécution du programme.

Remarque : une variable globale peut être déclarée **entre** deux fonctions (**déconseillé**)

$\Rightarrow$ portée : tout le programme **suivant** la déclaration de la variable

7.6.2 Variables locales

Une variable locale à un bloc est déclarée dans ce bloc

$\Rightarrow$ portée : réduite au bloc dans laquelle elle est déclarée

$\Rightarrow$ **variable dite temporaire ou automatique** : la zone mémoire occupée par la variable est libérée à la sortie du bloc.

Remarque : le **C99** autorise les **déclarations tardives**

$\Rightarrow$ la portée peut être restreinte à un sous-bloc d'une fonction

7.6.3 Exemple d'un programme utilisant une variable globale

```
/* programme global_exemple.c */
#include <stdio.h>                  /* pour les entrées/sorties */
#include <stdlib.h>                 /* par exemple pour exit */

int n=5;                            /* declaration variable globale n=5 */
int somme(void) ;                   /* déclaration de la fonction somme */

int main(void){                     /* fonction principale */
  int s ;          /* variable locale a main */
  s = somme() ;                     /* appel fonction somme sans argument */
  printf("somme de 1 a %d = %d\n", n, s) ;
  n++;                              /* incrementation de la variable n */
  s = somme() ;                     /* appel de la fonction somme */
  printf("somme de 1 a %d = %d\n", n, s) ;
  exit(0) ;                           /* renvoie à unix un status 0 (OK) */
}
```

```
int somme(void)                    /* définition de la fonction somme */
{
  int i , sum ;    /* variables locales a somme */
  for (i = 0, sum = 0 ; i <= n ;  i++) /* n: variable globale ! */
    {
      sum += i ;
    }
  return sum ;                     /* valeur rendue par la fonction */
}
```

Résultats :

```
somme de 1 a 5 = 15
somme de 1 a 6 = 21
```

7.7 Passage de paramètres dans une fonction

Par passage de paramètre on entend la transmission de la valeur d'une variable de la fonction appelante vers la fonction appelée et vice-versa.

Rappel :

L'appel d'une fonction se fait au moyen de l'expression :

```
nom_fonction(para1, ..., paran)
```

où le nombre, l'ordre (et le type) des paramètres : `para1`, ..., doivent correspondre à ceux des arguments : `arg1`, ..., donnés dans l'entête de la fonction.

Important : on utilise la terminologie suivante

- Les **paramètres effectifs** sont des variables de la **fonction appelante**.
- Les **paramètres formels (ou muets)** d'une fonction sont ceux qui figurent dans **l'entête de la fonction**.

7.7.1 Exemple de passage par valeur : le faux échange

```
/* programme faux-echange.c */
/* Fonctions : passage des arguments par valeur */
/* => pas de modification en retour */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
void echange(int a, int b) ; /* prototype */
void echange(int a, int b)   /* definition */
{  /* a et b:     ^       ^  parametres formels (muets) */
  int c;  /* variable locale à la fonction */
  printf("\tdebut echange : %d %d \n", a, b);
  printf("\tadresses debut echange : %p %p \n", &a, &b);
  c = a;
  a = b;
  b = c;
```

```
  printf("\tfin echange : %d %d \n", a, b);
  printf("\tadresses fin echange : %p %p \n", &a, &b);
  return;
}

int main(void)
{
  int n = 1, p = 5;
  printf("avant appel : n=%d p=%d \n", n, p);
  printf("adresses avant appel : %p %p \n", &n, &p);
  echange(n,p); /* appel avec les parametres effectifs */
  printf("apres appel : n=%d p=%d \n", n, p);
  printf("adresses après appel : %p %p \n", &n, &p);
  exit(0) ;
}
```

Les paramètres muets, `a` et `b`, de la fonction `echange` stockent **la valeur** des paramètres effectifs, `n` et `p`, de la fonction appelante :

$\Rightarrow$ `a` et `b` sont une copie locale de la valeur de `n` et `p`, respectivement

$\Rightarrow$ la copie disparaît au retour dans la fonction appelante

$\Rightarrow$ les variables de la fonction appelante **ne sont pas modifiées** par la fonction appelée

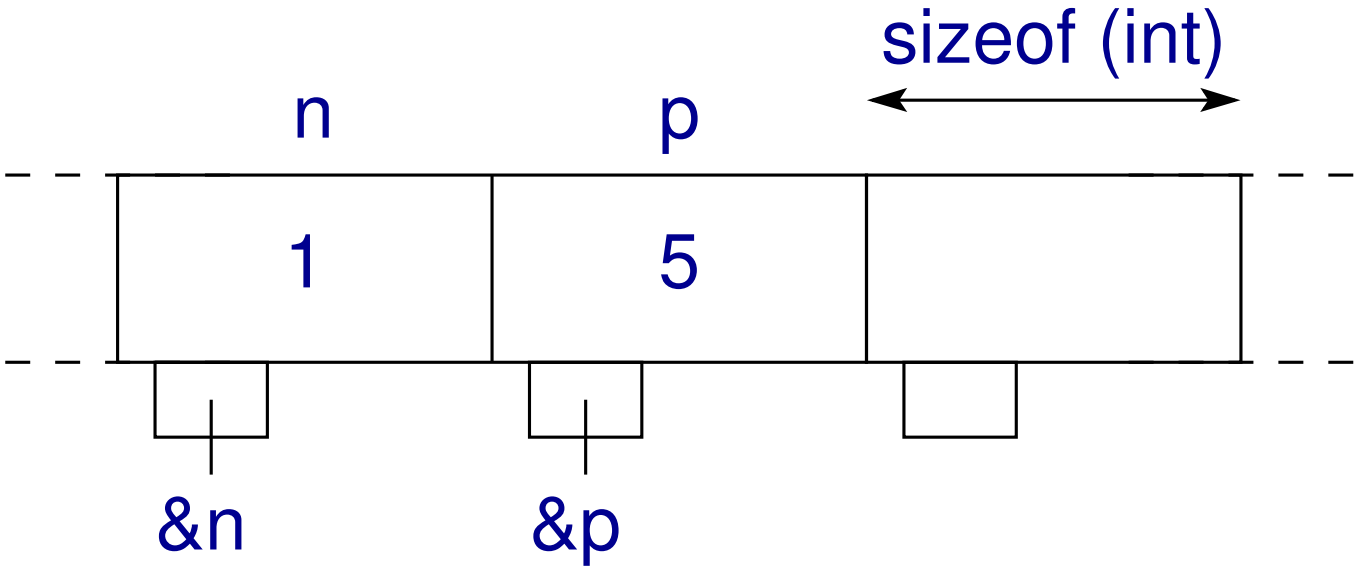
$\Rightarrow$ on parle de **passage par copie de valeur**

```
avant appel : n=1 p=5
adresses avant appel : 0xbfd04174 0xbfd04170
        debut echange : 1 5
        adresses debut echange : 0xbfd04140 0xbfd04144
        fin echange : 5 1
        adresses fin echange : 0xbfd04140 0xbfd04144
apres appel : n=1 p=5
adresses après appel : 0xbfd04174 0xbfd04170
```

7.7.2 Le faux échange : visualisation de la RAM à l'exécution

Dans la fonction `main` avant l'appel à la fonction `echange` :

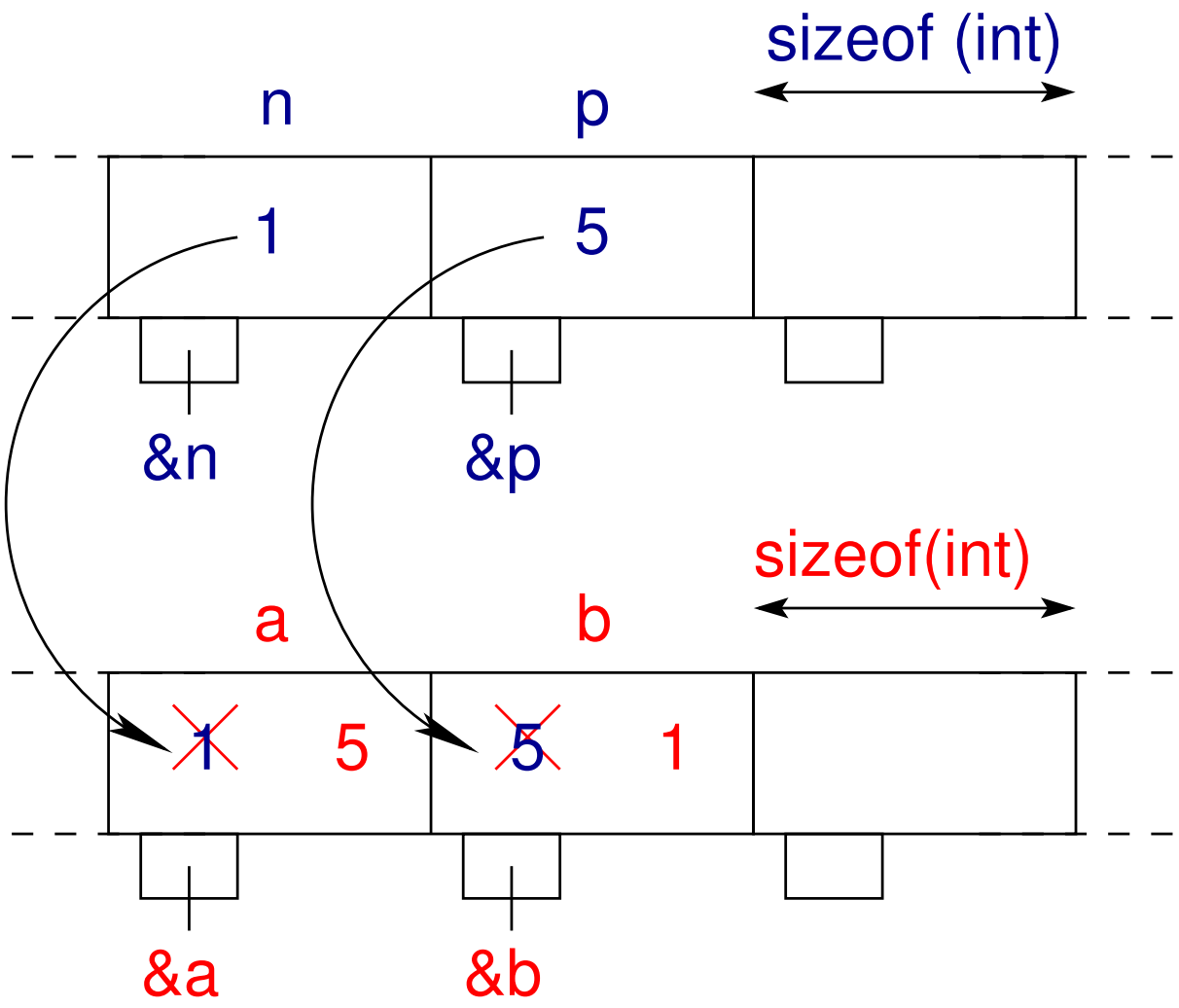
```
int n=1; int p=5;
```



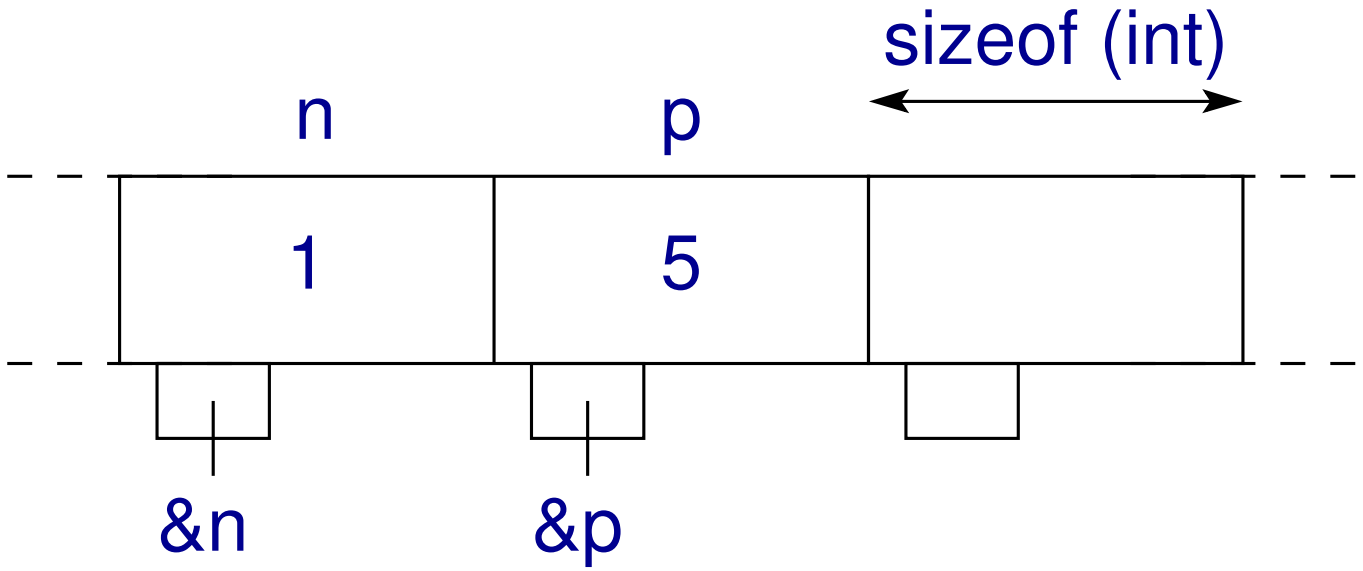
Attention : pour simplifier, chaque segment représenté a la taille d'un entier.

A l'appel de la fonction `echange` : passage par copie de valeur

$\Rightarrow$ échange de **`a`** et **`b`**



Au retour à la fonction `main` les valeurs de **`n`** et **`p`** restent inchangées :



7.7.3 Exemple de passage par adresse : le vrai échange

```
/* programme echange.c */
/* Fonctions : passage des adresses en arguments (par valeur
/* =>  modification en retour */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
void echange(int *ptra, int *ptrb); /* prototype */
void echange(int *ptra, int *ptrb){ /* definition */
/*  ptra et ptrb  ^          ^  pointeurs sur des entiers */
  int c;  /* variable locale à la fonction (pas pointeur) */
  printf("\tdebut echange : %d %d \n", *ptra, *ptrb);
  printf("\tadresses debut echange : %p %p \n", ptra, ptrb);
  c = *ptra;
  *ptra = *ptrb;
  *ptrb = c;
```

```
  printf("\tfin echange : %d %d \n", *ptra, *ptrb);
  printf("\tadresses fin echange : %p %p \n", ptra, ptrb);
  return;
}
int main(void)
{
  int n = 1, p = 5;
  printf("avant appel : n=%d p=%d \n", n, p);
  printf("adresses avant appel : %p %p \n", &n, &p);
  echange(&n, &p); /* appel avec les adresses */
  printf("apres appel : n=%d p=%d \n", n, p);
  printf("adresses après appel : %p %p \n", &n, &p);
  exit(0) ;
}
```

Les paramètres muets, `ptra` et `ptrb`, de la fonction `echange` stockent **l'adresse** des paramètres effectifs, `n` et `p`, de la fonction appelante :

⇒ `ptra` et `ptrb` sont des **pointeurs** sur `n` et `p`, respectivement

⇒ la fonction appelée travaille sur la même zone mémoire que la fonction appelante

⇒ la fonction appelée **modifie** (indirectement) la valeur de **plusieurs paramètres** de la fonction appelante

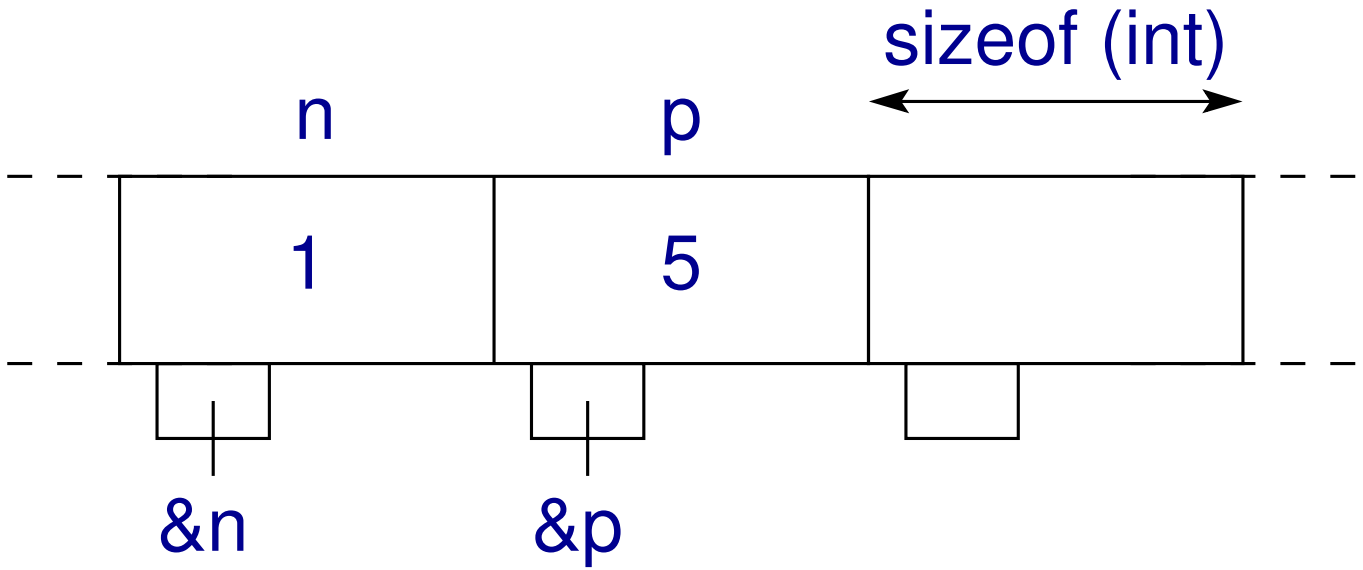
⇒ on parle de **passage par copie d'adresse**

```
avant appel : n=1 p=5
adresses avant appel : 0xbffbf524 0xbffbf520
        debut echange : 1 5
        adresses debut echange : 0xbffbf524 0xbffbf520
        fin echange : 5 1
        adresses fin echange : 0xbffbf524 0xbffbf520
apres appel : n=5 p=1
adresses après appel : 0xbffbf524 0xbffbf520
```

7.7.4 Le vrai échange : visualisation de la RAM à l'exécution

Dans la fonction `main` avant l'appel à la fonction `echange` :

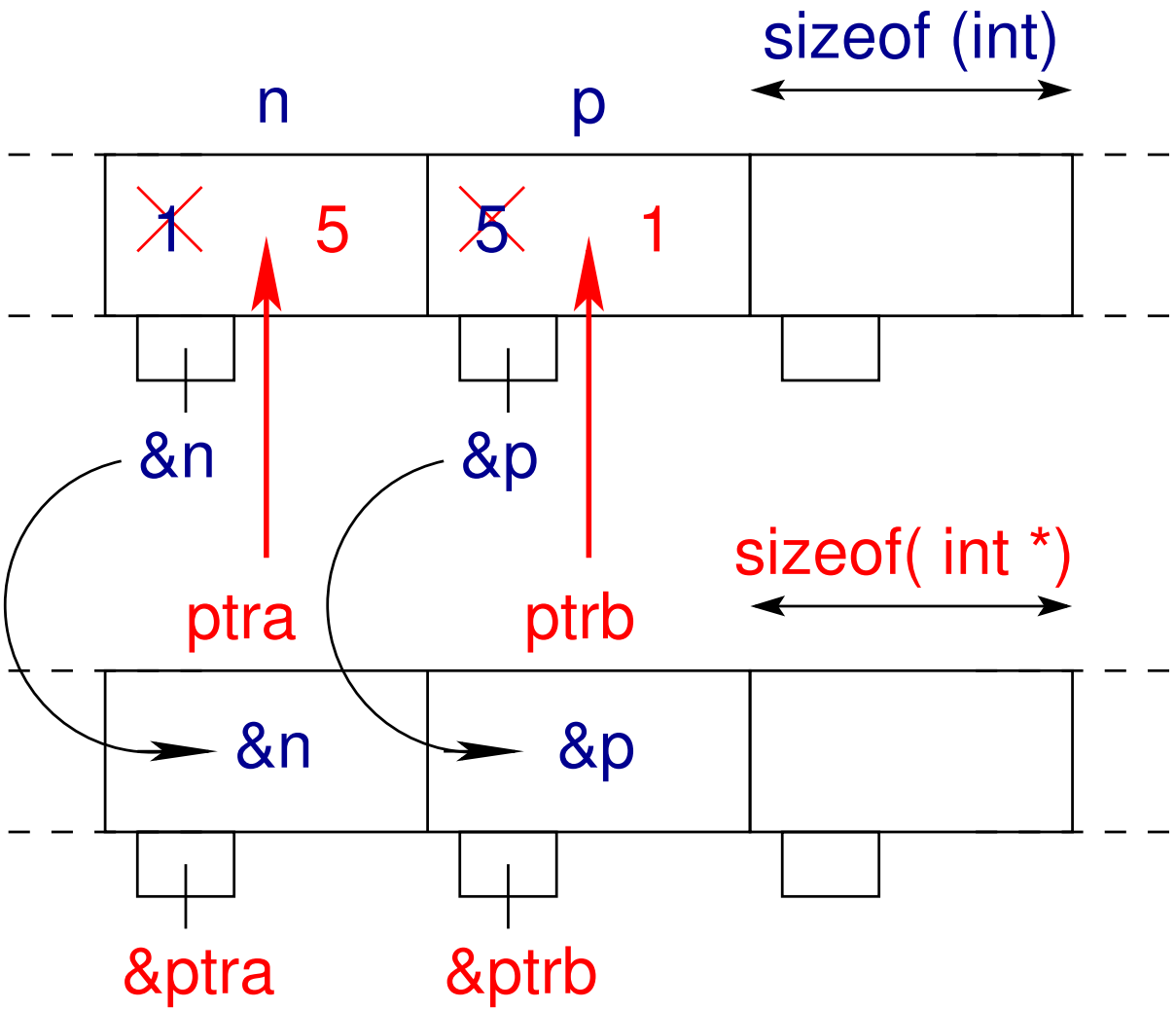
```
int n=1; int p=5;
```



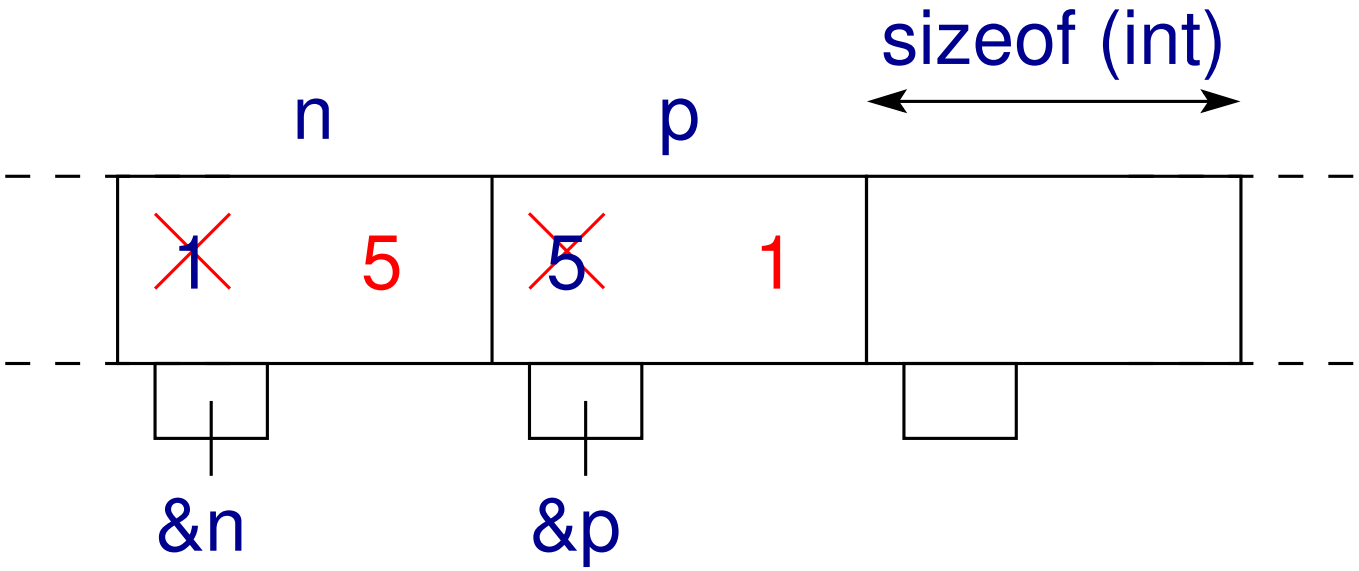
Attention : pour simplifier, chaque segment représenté a la taille d'un entier ou d'un pointeur sur un entier.

A l'appel de la fonction `echange` : passage par copie d'adresse

$\Rightarrow$ échange de **`*ptra`** et **`*ptrb`**



Au retour à la fonction `main` les valeurs de **`n`** et **`p`** ont bien été échangées :



7.7.5 Bilan sur le passage de paramètres

Si l'on souhaite **modifier une seule variable** de la fonction appelante :

$\Rightarrow$ privilégier le **passage par copie de valeur** des variables que l'on ne souhaite pas modifier
(conversions implicites possibles)

$\Rightarrow$ utiliser la **valeur de retour** de la fonction pour modifier la variable concernée

Si l'on souhaite **modifier deux variables ou plus** de la fonction appelante :

$\Rightarrow$ privilégier le **passage par copie d'adresse** des variables à modifier (pointeurs)
(chaque pointeur **doit** être du même type que la variable pointée)

$\Rightarrow$ passage par valeur des variables que l'on ne souhaite pas modifier

$\Rightarrow$ fonction avec ou sans retour selon les besoins

Remarque importante : dans le passage par copie d'adresse il faut respecter exactement le type (éviter la conversion de type de pointeur)

7.8 Retour sur printf/scanf

`printf` ne modifie pas les variables qu'il reçoit en argument

⇒ **passage par copie de valeur**

Dans la fonction appelante :

```
double x = 0.2 ; float y = 3.4f ; int n = 10 ;
printf("x=%g, y=%g, n=%d\n", x, y, n);
```

(conversions implicites possibles)

`scanf` modifie la valeur des variables qu'il reçoit à partir du deuxième argument

⇒ il est possible de modifier la valeur de **plusieurs** variables

⇒ **passage par copie de valeur** du premier argument

⇒ **passage par copie d'adresse** des arguments qui suivent

Dans la fonction appelante :

```
double x ; float y ; int n ;
scanf("%lg %g %d", &x, &y, &n);
```

(attention : le pointeur **doit** être du même type que la variable pointée)

7.9 Complément sur les fonctions : la récursivité

Fonction récursive = fonction qui s'appelle elle-même

7.9.1 Exemple de fonction récursive : factorielle

```
/* programme fct_recurs.c */
int fact(int n){ /* calcul récursif de factorielle */
/* attention aux dépassements de capacité non testés en entier */
  int factorielle;
  if ( n > 0 ){
     factorielle = n * fact(n-1); /* provoque un autre appel à fact */
  }
  else {
    factorielle = 1 ;  /* fin de la recursion */
  }
  return factorielle;
}
```

8 Tableaux

8.1 Définition et usage

Un **tableau** est un ensemble ”rectangulaire” d'éléments :

- **de même type**,
- repérés au moyen d'**indices entiers**,
- stockés en mémoire à des **adresses contiguës**.

L'ensemble de ces éléments est identifié par un **identifiant unique** :
le nom du tableau.

Les tableaux sont utilisés lorsque l'on manipule plusieurs objets de même type,
ayant un lien entre eux :

- les différentes valeurs d'une fonction (vecteur de N points),
- les coordonnées de plusieurs points
  (matrice de N points $\times 2$ (ou 3) coordonnées)
- etc...

8.1.1 Exemples de programmes élémentaires utilisant des tableaux 1D

```c
/* fichier tableaux-elem1d_1.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void){
  int i;

  // declaration + affectation d'un tableau de 3 reels (double)
  double tab1d[3] = {0.5, 1.5, 2.5}; // taille fixe de 3
  //                 ^ un seul indice: tableau 1D
  // impression du tableau a l'aide d'une boucle for:
  for (i=0; i<3; i++){ // attention: indice i varie de 0 a 2
    printf("element %d du tableau = tab1d[%d] = %g\n", i+1, i, tab1d[i]);
  }

  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
element 1 du tableau = tab1d[0] = 0.5
element 2 du tableau = tab1d[1] = 1.5
element 3 du tableau = tab1d[2] = 2.5
```

Caractéristiques de ce programme :

- affectation globale du tableau dès sa déclaration (initialisation)
- utilisation d'une boucle pour l'impression des éléments du tableau

```c
/* fichier tableaux-elem1d_2.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void){
  int i;
  // declaration d'un tableau de 3 reels (double):
  double tab1d[3]; // taille fixe de 3
  //             ^ un seul indice: tableau 1D
  // affectation du tableau a l'aide d'une boucle for:
  for (i=0; i<3; i++){ // attention: indice i varie de 0 a 2
    tab1d[i] = (double) i + 0.5;
  }

  // impression du tableau a l'aide d'une boucle for:
  for (i=0; i<3; i++){ // attention: indice i varie de 0 a 2
    printf("element %d du tableau = tab1d[%d] = %g\n", i+1, i, tab1d[i]);
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
element 1 du tableau = tab1d[0] = 0.5
element 2 du tableau = tab1d[1] = 1.5
element 3 du tableau = tab1d[2] = 2.5
```

Caractéristiques de ce programme :

- utilisation d'une boucle pour l'affectation du tableau
- utilisation d'une boucle pour l'impression des éléments du tableau

8.1.2 Exemples de programmes élémentaires utilisant des tableaux 2D

```c
/* fichier tableaux-elem2d_0.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void){
  int i, j;
  // declaration + affectation d'un tableau de 6 entiers
  int tab2d[2][3] = {{1,2,3},{4,5,6}}; // taille fixe de 6
  //          ^  ^ deux indices: tableau 2D
  // impression du tableau a l'aide de deux boucles for:
  for (i=0; i<2; i++){ // attention: indice i varie de 0 a 1
    for (j=0; j<3; j++){ // attention: indice i varie de 0 a 2
      printf("tab2d[%d][%d] = %d\n", i, j, tab2d[i][j]);
    }
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
tab2d[0][0] = 1
tab2d[0][1] = 2
tab2d[0][2] = 3
tab2d[1][0] = 4
tab2d[1][1] = 5
tab2d[1][2] = 6
```

```c
/* fichier tableaux-elem2d_1.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void){
  int i, j;
  // declaration d'un tableau de 6 entiers
  int tab2d[2][3]; // taille fixe de 6
  //          ^  ^ deux indices: tableau 2D
  // affectation du tableau
  for (i=0; i<2; i++){ // attention: indice i varie de 0 a 1
    for (j=0; j<3; j++){ // attention: indice i varie de 0 a 2
      tab2d[i][j] = 3*i + j + 1;
    }
  }
  // impression du tableau sous forme de matrice:
  for (i=0; i<2; i++){ // attention: indice i varie de 0 a 1
    for (j=0; j<3; j++){ // attention: indice i varie de 0 a 2
```

```
      printf(" %d ", tab2d[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
1  2  3
4  5  6
```

8.2 Tableaux de taille fixe

8.2.1 Déclaration d'un tableau de taille fixe

— déclaration d'un tableau à **1 indice (vecteur)** de 3 **réels** (`double`) :

```
double tab1d[3] ;
```

— déclaration d'un tableau à **2 indices (matrice)** de 6 **entiers** :

```
int tab2d[2][3] ;
```

— etc ...

La **dimension** d'un tableau correspond au **nombre d'indices** (ou de "directions")

⇒ un tableau à 1 indice est un tableau 1D (un vecteur)

⇒ un tableau à 2 indices est un tableau 2D (une matrice)

La **taille** d'un tableau correspond à l'espace occupé par les variables stockées dans les éléments du tableau

⇒ un tableau 1D de 3 entiers a une taille de `3*sizeof(int)`

⇒ un tableau 2D de 6 doubles a une taille de `6*sizeof(double)`

Cas général :

déclaration d'un tableau de taille fixe à **n indices** de $n1 * n2 * ... * nn$ **variables** :

```
type_tab nom_tab[n1][n2]...[nn] ;
```

$\Rightarrow$ dimension : n (on a n "directions")

$\Rightarrow$ taille : $n1 * n2 * ... * nn$`*sizeof(type_tab)`

- **`type_tab`** est le **type des variables stockées dans les éléments du tableau**,
- **`nom_tab`** est l'**identifiant du tableau**,
- `ni` est une **constante** entière postitive correspondant au **nombre d'éléments dans la $i-$ème direction**.

Attention : la dimension d'un tableau peut faire référence :

- au nombre d'indices (ou directions) $\Rightarrow$ **convention adoptée ici**.
- à la valeur d'un indice donné. Par exemple : 3 dans le cas de

```
double tab1d[3] ;
```

8.2.2 Indexation et référence à un élément d'un tableau

Pour un tableau à 1 indice, de **n éléments**, l'**indice** varie de **0** à **n-1**.

Exemple : `tab1d[2]` est le **troisième** élément du tableau.

Exemples de références à des éléments de tableaux :

Tableau 1D de doubles : `x = tab1d[2] ;` où `x` est un double

$\Rightarrow$ on stocke le 3ème élément de `tab1d` dans `x`

Tableau 2D d'entiers : `i = tab2d[1][0] ;` où `i` est un entier

$\Rightarrow$ on stocke le 4ème élément de `tab2d` dans `i`

Attention : pas d'opérateur séquentiel $\ll$ `,` $\gg$ $\Rightarrow$ `[2,0]` est interprété comme `[0]`

Attention : généralement, aucun contrôle sur la valeur de l'indice n'est effectué par le compilateur

$\Rightarrow$ en cas de **débordement d'indice** il y a un risque important d'`erreur de`

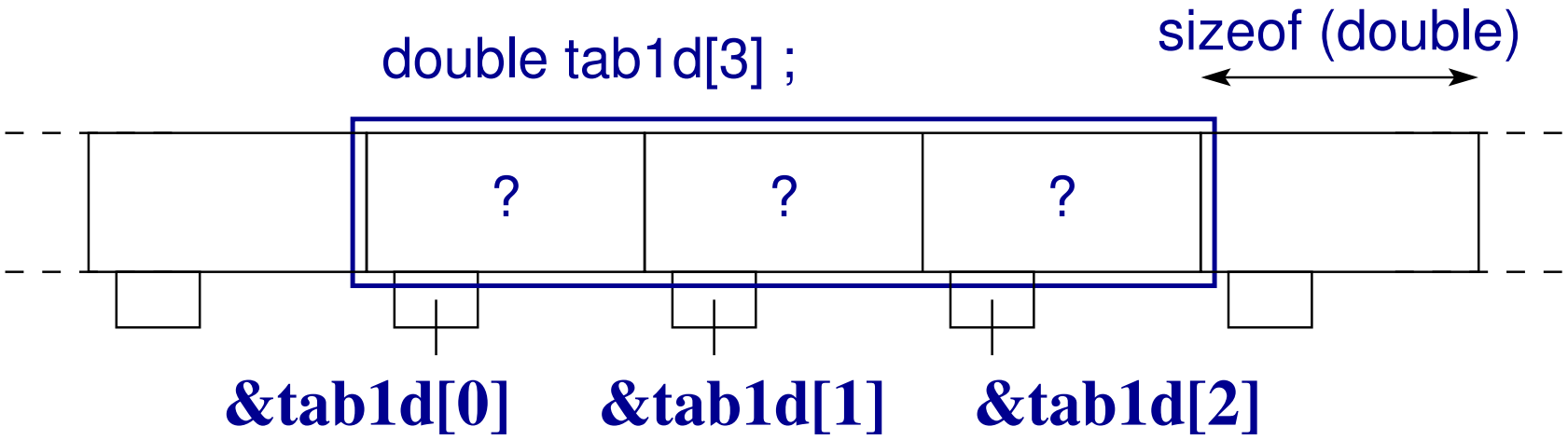
`segmentation` (voir plus loin)

8.2.3 Déclaration d'un tableau 1D : visualisation de la RAM

Déclarer un tableau $\Rightarrow$ **réserver une zone mémoire** pour stocker l'ensemble de ses éléments :

- la **taille** de cette zone dépend du **type** du tableau et du **nombre** de ses éléments,
- l'**emplacement** des éléments du tableau en mémoire correspond à des **adresses contiguës**.

Exemple de déclaration d'un tableau à 1 dimension : `double tab1d[3] ;`



8.2.4 Affectation d'un tableau

On distingue deux manières d'affecter un tableau de taille fixe :

A la déclaration : (initialisation)

— Pour un tableau à une dimension (vecteur) :

```
double tab1d[3] = {0.5,1.5,2.5};
```

produit le tableau `tab1d` tel que `tab1d[0]`=**0.5**, `tab1d[1]`=**1.5** et `tab1d[2]`=**2.5**.

— Pour un tableau à deux dimensions (matrice) :

```
int tab2d[2][3] = {{1,2,3},{4,5,6}} ;
```

produit le tableau `tab2d` tel que `tab2d[0][0]`=**1**, `tab2d[0][1]`=**2**, `tab2d[1][0]`=**4**, etc ...

Remarque : tableau 2d = tableau de tableaux

⇒ cas de `tab2d[2][3]` : 1 tableau de 2 tableaux de 3 éléments de type `int`

⇒ pas de véritable notion de tableau multidimensionnel en C.

Hors de la déclaration : (**méthode la plus courante**)

il est alors impossible de préciser les valeurs d'un tableau en une seule instruction

$\Rightarrow$ recours aux **boucles** en général

— Pour le tableau `tab1d` précédent :

```
double tab1d[3] ;
for (i=0; i<3; i++) { /* indice variant de 0 a 2 */
   tab1d[i] = i + 0.5 ;
}
```

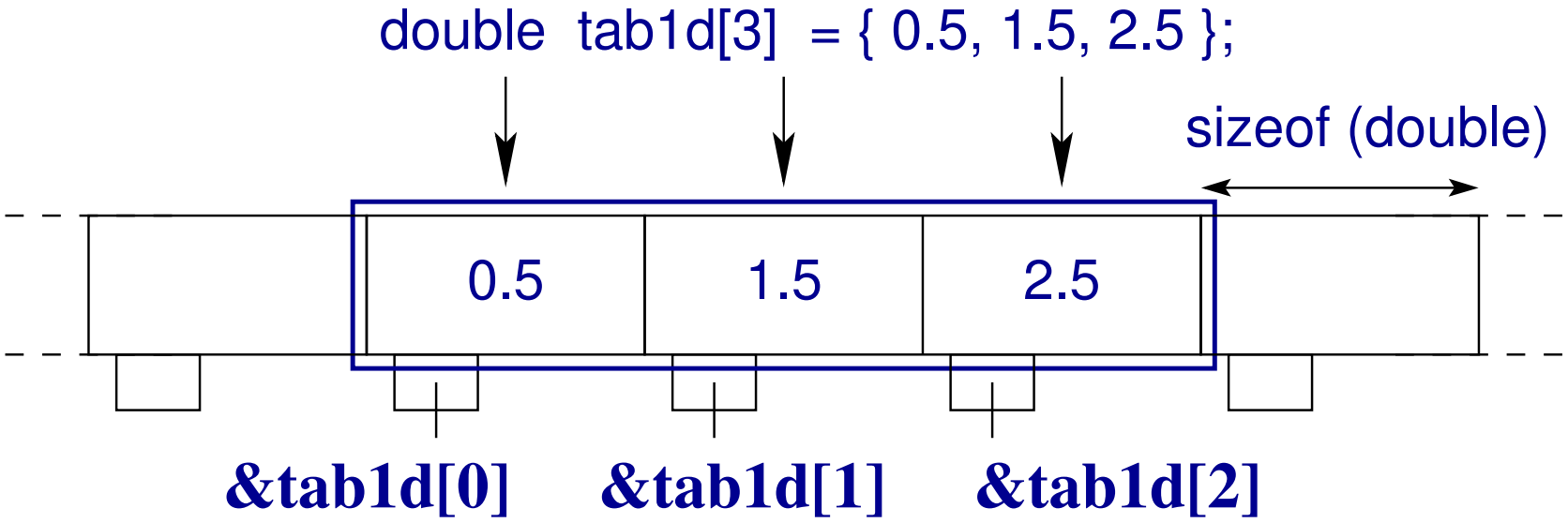
— Pour le tableau `tab2d` précédent :

```
int tab2d[2][3] ;
for (i=0; i<2; i++) {          /* indice lent */
   for (j=0; j<3; j++) {       /* indice rapide */
      tab2d[i][j] = 3*i + j + 1 ;
   }
}
```

8.2.5 Affectation d'un tableau 1D : visualisation de la RAM

Exemple d'initialisation d'un tableau :

```
double tab1d[3] = {0.5,1.5,2.5} ;
```

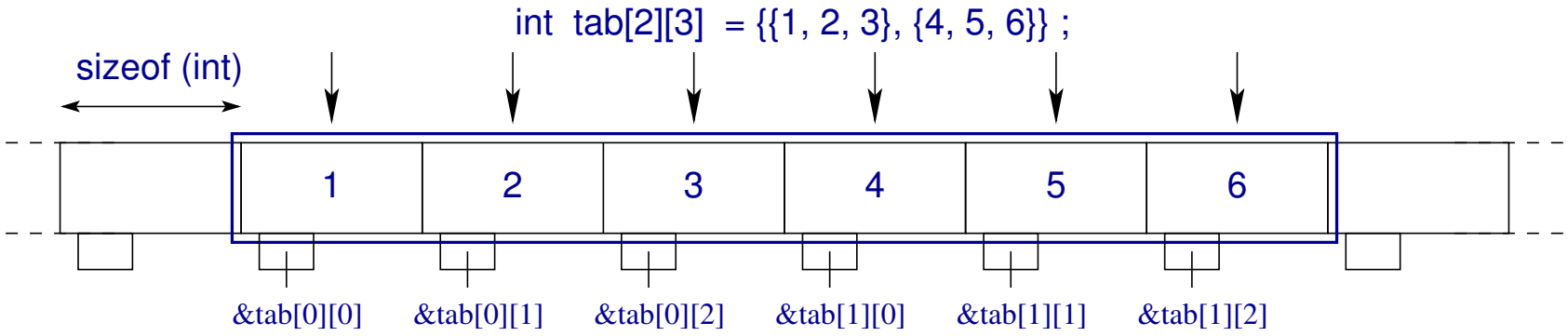


Attention : en cas de **débordement d'indice** il y a un risque important d'`erreur de segmentation`

8.2.6 Affectation d'un tableau 2D : visualisation de la RAM

Exemple d'initialisation d'un tableau 2D :

```
int tab[2][3] = {{1,2,3},
                 {4,5,6}};
```



Remarque importante :

Dans le cas de tableaux à plusieurs dimensions

l'indice des éléments contigus est **l'indice le plus à droite**.

8.2.7 Ordre des éléments de tableaux 2D en C

Dans le cas de tableaux à plusieurs dimensions

l'indice qui défile le plus vite est celui des **éléments contigus**

$\Rightarrow$ c'est donc **l'indice le plus à droite**.

Ainsi, dans le cas d'un tableau 2D :

- 1er indice = "lignes" de la matrice
- 2ème indice (le plus rapide) = "colonnes" de la matrice

Conséquence : la boucle la plus interne est sur l'indice rapide

$\Rightarrow$ augmente la vitesse de calcul

(un bon compilateur optimise automatiquement le code de cette manière)

8.3 Inconvénients des tableaux de taille fixe

Très fréquemment, on est amené à exécuter un même programme sur un ensemble d'éléments dont **le nombre varie d'une exécution à l'autre**
(exemple : la résolution avec laquelle on examine une fonction)

$\Rightarrow$ l'utilisation des tableaux de taille fixe (tel que ci-dessus) nécessite une modification de nombreuses lignes de code (risque d'erreurs)

On étudiera trois manières de remédier à cet inconvénient :

- l'utilisation d'une **directive préprocesseur**
- l'utilisation de **tableaux automatiques**,
- l'**allocation dynamique** (prochain chapitre)

8.3.1 Directive préprocesseur (ancienne méthode)

Utiliser une directive du préprocesseur pour **paramétrer la taille** :

```
#define N 20
```
(noter l'utilisation de la majuscule)

```
int main(void) {
int i, j ;
  int tab2d[N][2*N+1] ;
  ...
  for (i=0; i<N; i++) {
  ...
    for (j=0; j<2*N+1; i++) {
  ...
```

Avantage : changer la taille du tableau ne nécessite que la modification de la 1ère ligne.

Inconvénient : changer la taille du tableau nécessite une recompilation.

```c
/* programme tableaux-elem2d_2.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define LIGNES 3    // taille dans la 1ere direction
#define COLONNES 5  // taille dans la 2eme direction

int main(void) {
  int i, j;
  // declaration d'un tableau de 15 elements:
  int t[LIGNES][COLONNES]; // taille fixe de 15

  // affectation du tableau:
  for (i=0; i<LIGNES; i++) {          // indice lent
    for (j=0; j<COLONNES; j++) {      // indice rapide
      t[i][j] = 10*i + j + 11 ;
    }
  }
```

```
  printf("impression du tableau 2D t[i][j]=10*i+j+11\n");
  printf("en faisant varier j à i fixé\n");
  for (i=0; i<LIGNES; i++) {          // indice lent
      for (j=0; j<COLONNES; j++) {    // indice rapide
         printf("%d ", t[i][j]) ;
      }
      printf("\n") ;
  }
  exit(0) ;
}
```

Résultat à l'exécution :

```
impression du tableau 2d t[i][j]=10*i+j+11
en faisant varier j à i fixé
11 12 13 14 15
21 22 23 24 25
31 32 33 34 35
```

8.3.2 Déclaration tardive et tableau automatique (méthode conseillée)

En **C99**, on peut profiter de la possibilité offerte par les **déclarations tardives** :

```
int n ;
scanf("%d", &n) ; /* on demande à l'utilisateur la taille */
double tab[n] ;
```

Le tableau `tab` est déclaré **APRES** une instruction $\Rightarrow$ déclaration tardive.

Avantage :

Le code est compilé une fois pour toutes.

La valeur de `n` est modifiée à l'exécution seulement (taille "variable").

Remarque importante : Il faut affecter `n` **AVANT** de déclarer le tableau.

Le code suivant compile, mais a de grandes chances de provoquer une erreur :

```
int n ;
double tab[n] ;  /* la valeur de n est indéfinie ici !!*/
```

8.3.3 Exemple de programme utilisant un tableau automatique

```c
/* programme declar-tardive.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
//--------- attention: norme C99 -------------------------
int main(void) {
  int n; // taille du tableau 1D (vecteur)

  printf("Entrer la taille du vecteur\n");
  scanf("%d", &n); // taille fixee par l'utilisateur
  /* tableau de taille variable => decl. tardive
  on peut utiliser tab partout sous sa declaration: */
  double tab[n];

  printf("*** Saisie des elements ***\n");
  for (int i=0; i<n; i++) { // decl. tardive de i locale au sous-bloc
     printf("tab[%d] ? ", i);
     scanf("%lg", &tab[i]);
  } // sortie du sous-bloc: la zone memoire occupee par i est liberee
```

```
  printf("*** Affichage des elements ***\n");
  for (int i=0; i<n; i++) { // decl. tardive de i locale au sous-bloc
     // i est une nouvelle variable sans lien avec la précédente
     printf("tab[%d] = %g\n", i, tab[i]);
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
Entrer la taille du vecteur
3
*** Saisie des elements ***
tab[0] ?
tab[1] ?
tab[2] ?
*** Affichage des elements ***
tab[0] = 2.5
tab[1] = -4.45
tab[2] = 0.123
```

8.4 Tableaux et pointeurs en C

8.4.1 Notions de base

— un **tableau** est un **pointeur constant sur le premier élément du tableau**,

— la **valeur** de ce pointeur est l'**adresse du premier élément du tableau**.

Exemple : `float tab[9] ;`

⇒ **`tab`** est un pointeur vers **`tab[0]`**

⇒ **`tab`** correspond à **`&`**`tab`**`[0]`**

⇒ **`*`**`tab` correspond à **`tab[0]`**

L'**affectation globale** `tab = ...` est donc **impossible**

Application :

```
scanf("%g", tab); /* equivalente a: scanf("%g", &tab[0]); */
```

⇒ conversion de `tab` en un pointeur constant vers `tab[0]`

8.4.2 Arithmétique des pointeurs

On peut faire des opérations arithmétiques (addition, soustraction) sur des pointeurs

⇒ cela revient à se déplacer dans la mémoire.

Exemple dans le cas d'un tableau : `float tab[9] ;`

⇒ `tab + i` correspond à `&tab[i]`

⇒ `*(tab + i)` correspond à `tab[i]`

Exemple dans le cas d'un pointeur ordinaire : `float *pf ;`

```
pf = &tab[3] ; /* equivalente a: pf = tab + 3 ; */
```

si `pf` correspond à `&tab[3]` ⇒ `pf++` correspond à `&tab[4]`

si `pf` correspond à `&tab[3]` ⇒ `pf--` correspond à `&tab[2]`

⇒ `pf` sous-tableau commençant au 4e élément de `tab`

(attention : on peut revenir en arrière)

8.4.3 Retour sur l'ordre des éléments de tableaux 2D en C

```c
/* programme tableaux-elem2d_3.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define LIGNES 3    // taille dans la 1ere direction
#define COLONNES 5  // taille dans la 2eme direction
int main(void) {
  int i, j;
  int t[LIGNES][COLONNES]; // taille fixe de 15
  int *k = &t[0][0]; // pointeur sur t[0][0]
  // affectation du tableau:
  for (i=0; i<LIGNES; i++) {          // indice lent
    for (j=0; j<COLONNES; j++) {      // indice rapide
      t[i][j] = 10*i + j + 11 ;
    }
  }
```

```
  printf("impression du tableau 2D t[i][j]=10*i+j+11\n");
  printf("en faisant varier j à i fixé\n");
  for (i=0; i<LIGNES; i++) {          // indice lent
    for (j=0; j<COLONNES; j++) {      // indice rapide
      printf("%d ", t[i][j]) ;
    }
    printf("\n") ;
  }
  printf("impression du tableau 2D t[i][j]=10*i+j+11\n");
  printf("en suivant l'ordre en memoire\n");
  for (i=0; i<LIGNES*COLONNES; i++) {
    printf("%d ", *(k+i)) ; // ou meme k[i]
  }
  printf("\n") ;
  printf("=> l'indice le plus a droite varie le plus vite\n") ;
  exit(0) ;
}
```

Résultat à l'exécution :

```
impression du tableau 2d t[i][j]=10*i+j+11
en faisant varier j à i fixé
11 12 13 14 15
21 22 23 24 25
31 32 33 34 35
impression du tableau 2d t[i][j]=10*i+j+11
en suivant l'ordre en mémoire
11 12 13 14 15 21 22 23 24 25 31 32 33 34 35
```

$\Rightarrow$ l'indice **le plus à droite** varie le plus vite

8.4.4 Sous-tableau 1D avec un pointeur

```
/* programme sous-tab1d.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 10 // taille du tableau 1D
/* manipulation d'un sous-tableau 1d avec un pointeur */
int main(void) {
double tab[N]; // declaration du tableau 1D initial
double *ptrd=NULL; // pointeur sur le même type
                   // que les élémts du tableau
int i;

for (i = 0 ; i < N ; i++) {
  tab[i] = (double) i ;  // remplissage du tableau
}
```

```
ptrd = tab + 3; // équivaut à ptrd=&tab[3]

// affichage du tableau et du sous tableau
for (i = 0 ; i < N ; i++) {
  printf(" tab[%d] = %g", i, tab[i]);
  if (i < N - 3 ) { // au delà, sortie du tableau initial
     printf(", ptrd[%d] = %g", i, ptrd[i]);
  }
  printf("\n") ;
}
// on peut meme revenir en arriere
printf("ptrd[-1]=%g\n",ptrd[-1]);

exit(0) ;
}
```

Résultat à l'exécution :

```
 tab[0] = 0, ptrd[0] = 3
 tab[1] = 1, ptrd[1] = 4
 tab[2] = 2, ptrd[2] = 5
 tab[3] = 3, ptrd[3] = 6
 tab[4] = 4, ptrd[4] = 7
 tab[5] = 5, ptrd[5] = 8
 tab[6] = 6, ptrd[6] = 9
 tab[7] = 7
 tab[8] = 8
 tab[9] = 9
ptrd[-1]=2
```

8.4.5 Tableaux 2D et pointeurs

Un tableau 2D correspond à un tableau de tableau :

```
int tab2d[2][3] = {{1,2,3},{4,5,6}} ;
```

Un **tableau 2D** correspond donc à un **pointeur de pointeur** :

— `tab2d` est un **pointeur sur un pointeur d'entier**.

Sa valeur constante est l'adresse du premier élément du tableau :

`tab2d` correspond à `&tab2d[0]`

— `tab2d[i]` pour `i=0,1` est aussi un pointeur constant.

Sa valeur constante est l'adresse du premier élément de la ligne `i` du tableau :

`tab2d[i]` correspond à `*(tab2d+i)` et donc à `&tab2d[i][0]`.

Donc : `*(*(tab2d+i)+j)` correspond à `tab2d[i][j]`.

```c
/* fichier tab2d_defer.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 3 // taille fixe dans la 1ere direction
#define P 4 // taille fixe dans la 2eme direction
int main(void) {
   int tab2[N][P]; // tableau 2D de taille 12

   for (int i=0; i < N; i++) {
      for (int j=0; j < P; j++) {
         tab2[i][j]=i*j;
         printf("%d ", tab2[i][j]);
      }
      printf("\n");
   }
```

```
    // affichage de tab2[1][2] de 3 manieres:
    printf("%d\n",tab2[1][2]);
    printf("%d\n",(*(tab2+1))[2]);
    printf("%d\n",*(*(tab2+1)+2));
    exit(0);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
0 0 0 0
0 1 2 3
0 2 4 6
2
2
2
```

8.4.6 Utilisation de `typedef`

`typedef` permet de définir des synonymes de types en C

Recette syntaxique : dans une déclaration classique, remplacer le nom de la variable par le synonyme et insérer **`typedef`** en tête

Exemple 1 : choisir les types flottants de façon paramétrée

```
typedef float real;
```
ou
```
typedef double real;
```
puis,
```
real x, y;
```

Exemple 2 : syntaxe plus délicate avec les tableaux

```
typedef float vect[3];
```
puis

```
vect u, v;
```
2 tableaux de 3 float

```
vect tv[100];
```
`tv` tableau de 100 tableaux de 3 float

équivaut à `float tv[100][3];`

8.5 Fonctions et tableaux

8.5.1 Passage de tableaux de taille fixe (pour le compilateur)

Passage de tableau : transmission d'un tableau d'une fonction à une autre.

Dans le cas d'un tableau de taille fixe, cette taille est une expression constante

- qui est soit codée en dur au sein du programme (**à éviter**),
- soit spécifiée par une directive `#define` du préprocesseur (**préférable**)

Un tableau étant un **pointeur** sur le premier élément du tableau :

$\Rightarrow$ **passage par copie d'adresse** (celle du premier élément)

$\Rightarrow$ les valeurs stockées dans le tableau peuvent être **modifiées** de la fonction appelante vers la fonction appelée et vice versa.

Inconvénient : changer la taille nécessite une recompilation

8.5.2 Exemple de passage d'un tableau 1D de taille fixe

```c
/* fichier C99/tab1d-fixe.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 4  // taille fixe du tableau
void init_et_print(int t1d[N]);  // prototype de la fonction
void init_et_print(int t1d[N]) { // definition de la fonction
  //        tableau 1D  ^^^^^^ : pointeur
  for (int i=0; i < N; i++) {
    t1d[i] = i - 2;              // affectation
    printf("%2d ",t1d[i]);       // affichage
  }
  printf("\n");
  return; // fonction sans retour
}
```

```c
int main(void) {
  int tab1d[N]; // taille fixe de N=4

  init_et_print(tab1d); // passage par copie d'adresse
  //       tab1d ^^^^^ est equivalent a &tab1d[0]
  // le tableau a effectivement ete modifie dans le main:
  for (int i=0; i < N; i++) {
    printf("dans main : tab1d[%d]=%d\n", i, tab1d[i]);
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
-2 -1  0  1
dans main : tab1d[0]=-2
dans main : tab1d[1]=-1
dans main : tab1d[2]=0
dans main : tab1d[3]=1
```

8.5.3 Exemple de passage d'un tableau 2D de taille fixe

```c
/* fichier C99/tab2d-fixe.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 4  // taille fixe dans la premiere direction
#define P 8  // taille fixe dans la deuxieme direction
void init_et_print(int t2d[N][P]);  // prototype de la fonction
void init_et_print(int t2d[N][P]) { // definition de la fonction
  //        tableau 2D  ^^^^^^^^^^ : pointeur de pointeur
  for (int i=0; i < N; i++) {
    for (int j=0; j < P; j++) {
      t2d[i][j]=i-j;              // affectation
      printf("%2d ",t2d[i][j]);   // affichage
    }
    printf("\n");
  }
  return; // fonction sans retour
}
```

```c
int main(void) {
  int tab2d[N][P]; // taille fixe de NxP=32

  init_et_print(tab2d); // passage par copie d'adresse
  //      tab2d ^^^^^ est equivalent a &tab2d[0]
  // le tableau a effectivement ete modifie dans le main:
  printf("dans main : tab2d[0][4]=%d\n",tab2d[0][4]);
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
 0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7
 1  0 -1 -2 -3 -4 -5 -6
 2  1  0 -1 -2 -3 -4 -5
 3  2  1  0 -1 -2 -3 -4
dans main : tab2d[0][4]=-4
```

8.5.4 Passage de tableau de taille inconnue à la compilation

Taille inconnue $\Rightarrow$ **utiliser les tableaux automatiques**

$\Rightarrow$ la taille peut être choisie à l'exécution du programme

Le passage se fait toujours par copie d'adresse

$\Rightarrow$ modification possible du tableau dans la fonction appelante.

Attention à la syntaxe : dans la liste des arguments de la fonction,

il faut déclarer la taille du tableau **AVANT** le tableau lui-même.

Exemple : cas d'un tableau 2D

la fonction doit avoir un entête du type :

```
void init_et_print(int n, int p, int t[n][p])
```

$\Rightarrow$ déclarer `n` et `p` avant `t` dans les arguments de la fonction

8.5.5 Exemple de passage d'un tableau 1D de taille variable

```c
/* fichier C99/tab1d-var.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
//--------- attention: norme C99 ---------------------------
// passage en argument d'un tableau 1d de taille variable
// => il faut aussi passer la taille du tableau à la fct
// => il ft déclarer la taille du tabl. AVANT le tableau
void init_et_print(const int n, int t[n]);
// ATTENTION:       ^^^^^ n   non modifiable dans la fonction
void init_et_print(const int n, int t[n]) {
  for (int i=0; i < n; i++) {
    t[i] = i - 2;              // affectation
    printf("%2d ",t[i]);       // affichage
  }
  printf("\n");
  return; // fonction sans retour
}
```

```c
int main(void) {
  int n;
  printf("Entrer n:  ");
  scanf("%d", &n);
  int tab[n]; // tableau de taille variable, definie par l'utilisateur
  init_et_print(n,tab); // passage par copie d'adresse de tab
  printf("dans main : tab[n-1]=%d\n",tab[n-1]);
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
Entrer n:  4
-2 -1  0  1
dans main : tab[n-1]=1
```

8.5.6 Exemple de passage d'un tableau 2D de taille variable

```c
/* fichier C99/tab2d-var.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
//--------- attention: norme C99 ---------------------------
// passage en argument d'un tableau 2d de taille variable
// => il faut aussi passer la taille du tableau à la fct
// => il ft déclarer la taille du tabl. AVANT le tableau
void init_et_print(const int n, const int p, int t[n][p]);
// ATTENTION:      ^^^^^ n   et ^^^^^ p non modifiables dans la fonction
void init_et_print(const int n, const int p, int t[n][p]) {
  for (int i=0; i < n; i++) {
    for (int j=0; j < p; j++) {
      t[i][j]=i-j;              // affectation
      printf("%2d ",t[i][j]); // affichage
    }
    printf("\n");
  }
  return; // fonction sans retour
```

```
}

int main(void) {
  int n, p;
  printf("Entrer n et p:  ");
  scanf("%d %d", &n, &p);
  int tab[n][p]; // taille variable, definie par l'utilisateur
  init_et_print(n,p,tab); // passage par copie d'adresse de tab
  printf("dans main : tab[n-1][p-1]=%d\n",tab[n-1][p-1]);
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
Entrer n et p:  2 8
 0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7
 1  0 -1 -2 -3 -4 -5 -6
dans main : tab[n-1][p-1]=-6
```

8.5.7 Limite des tableaux automatiques

Les tableaux automatiques sont la solution à utiliser dans la plupart des cas

Comme toutes les variables considérées jusqu'ici, ces tableaux sont visibles dans le programme :

- après leur déclaration et au sein du **bloc dans lequel ils sont déclarés**,
- dans les **fonctions appelées** dans ce bloc, pourvu qu'ils soient passés comme argument.

Limitation :

les tableaux automatiques, s'ils sont déclarés dans une fonction, ne sont **pas visibles dans la fonction appelante**.

Remarque :

En fait, ces tableaux sont déclarés sur la ≪ **pile** ≫ : c'est-à-dire la partie de la mémoire gérée **automatiquement** par l'ordinateur.

```c
/* fichier C99/tab-pile2.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
// -------------- attention: norme C99 -------
// limite des tableaux automatiques:
// declares dans une fonction ils ne sont PAS
// visibles dans la fonction appelante
void print_1D(const int n, const int t[n]);
//          n  ^^^^^   et t ^^^^^ non modifiables
int * retour_tab(const int nn);
//  ^ retourne un pointeur de int (tableau 1D de int)

void print_1D(const int n, const int t[n]) {
  printf("impression du tableau dans print_1d:\n");
  for (int i = 0; i < n; i++) {
    printf("%d ", t[i]) ;  // pas de modification de t
  }
  printf("\n");
  return; // fonction sans retour
}
```

```c
int * retour_tab(const int nn){
  int tab[nn];     // declaration locale de tab
  for (int i=0; i<nn; i++) {
     tab[i] = i;  // affectation de tab
  }
  print_1D(nn, tab);
  return tab; // fonction retournant un tableau de int
}

int main(void) {
  int n, *t=NULL;  // declaration de t sans initialisation
  printf("entrer la taille n du tableau: \n");
  scanf("%d", &n);

  t = retour_tab(n);  // appel de la fonction tab_var

  printf("impression du tableau dans le main:\n");
  for (int i = 0; i < n; i++) {
    printf("%d ", t[i]) ;  // retourne n'importe quoi !
```

```
  }
  exit(0) ;
}
```

Avertissement à la compilation :

```
tab-pile2.c: In function 'retour_tab':
tab-pile2.c:23: attention : cette fonction retourne
l'adresse d'une variable locale
```

Problème (aléatoire) à l'exécution :

```
entrer la taille n du tableau: 5
impression du tableau dans print_1d:
0 1 2 3 4
impression du tableau dans le main:
-1228844832 32767 438773941 62 4
```

Ce type de problème survient aussi dans le cas suivant :

- un fichier de données contient la taille d'un tableau et les valeurs de ses éléments,
- on veut écrire une fonction qui lit ce fichier, ≪ alloue ≫le tableau et le remplit,
- cette fonction est appelée (par exemple) dans `main`.

Problème : impossible d'utiliser le tableau dans le `main` puisqu'il n'y est pas visible.

Solution : utiliser un tableau dynamique $\Rightarrow$ allocation dynamique.

Remarque :

Les tableaux dynamiques sont déclarés sur le ≪ **tas** ≫ : c'est-à-dire la partie de la mémoire gérée **manuellement** par le programmeur. Le tas permet d'assurer une **visibilité** des variables.

9 Allocation dynamique (sur le tas)

9.1 Motivation

Du point de vue de l'allocation de mémoire, on distingue trois types de tableaux :

- **tableaux statiques :** occupent un emplacement bien défini avant exécution
- **tableaux automatiques :** pas d'emplacement défini avant exécution
  $\Rightarrow$ alloués/désalloués "automatiquement" (sur la **pile** (*stack* en anglais))
- **tableaux dynamiques :** pas d'emplacement défini avant exécution
  $\Rightarrow$ alloués/désalloués "manuellement" (sur le **tas** (*heap* en anglais))

Avantage des tableaux dynamiques :

- leur taille peut varier pendant l'exécution du programme comme pour les tableaux automatiques,
- les tableaux dynamiques peuvent être alloués dans une fonction et retournés dans une autre contrairement aux tableaux automatiques.

C'est au programmeur de se charger de l'allocation et de la libération de la mémoire dynamique

9.2 Allocation dynamique avec `malloc` ou `calloc`

Deux fonctions standard permettent d'allouer un espace mémoire sur le tas.

Leur prototype est dans le fichier : `stdlib.h`

⇒ directive préprocesseur (compilation) : `#include <stdlib.h>`

Prototype de `malloc` : `void *malloc(size_t taille) ;`

- Un argument **`taille`** : nombre d'octets à allouer.
- Une valeur de retour du type **`void *`** (**pointeur** sur `void`) :
  - l'adresse de l'emplacement alloué si tout se passe bien,
  - le pointeur **`NULL`** en cas de problème.

Exemple : allocation d'un tableau 1D de 10 doubles

```
double *ptr = NULL ;
ptr = (double *) malloc(10*sizeof(double)) ;
```

Le pointeur peut être ensuite utilisé avec le formalisme tableau (`ptr[0]`...`ptr[9]`)

Noter : conversion de **`void *`** en **`double *`** et utilisation de `sizeof`

Prototype de `calloc` :

```
void *calloc(size_t nb_bloc, size_t taille) ;
```

- Deux arguments **`taille`** : nombre d'octets à allouer.
  - **`nb_bloc`** : nombre de blocs consécutifs de **`taille`** octets à allouer,
  - **`taille`** : nombre d'octets par bloc.
- Une valeur de retour du type **`void *`** (**pointeur** sur `void`) :
  - l'adresse de l'emplacement alloué si tout se passe bien,
  - le pointeur **`NULL`** en cas de problème.

La fonction `calloc` initialise tous les octets alloués à zéro binaire

(OK pour les entiers, problème possible pour les réels)

Exemple : allocation d'un tableau 1D de 10 doubles

```
double *ptr = NULL ;
ptr = (double *) calloc(10, sizeof(double)) ;
```

9.3 Libération de la mémoire allouée avec `free`

La gestion de la mémoire dynamique (le ≪ tas ≫) est manuelle

⇒ la libération de l'espace alloué est à faire par le programmeur.

La fonction standard `free` permet de libérer la mémoire allouée dynamiquement.

(son prototype est dans le fichier : `stdlib.h`)

Prototype de `free` : `void free(void *adr) ;`

— Un argument **`adr`** : adresse de l'emplacement à libérer,
(**`adr`** est un pointeur qui aura été initialisé par `malloc` ou `calloc`)

— Aucune valeur de retour.

Exemple : allocation puis libération d'un tableau 1D de 10 doubles

```
double *ptr = NULL ;
ptr = (double *) calloc(10, sizeof(double)) ;
...
free(ptr) ;
ptr = NULL ;     (pour plus de sécurité)
```

9.4 Attention aux fuites de mémoire

```
int *adr = NULL ;
n = 1 ;
adr = (int *) calloc(100, sizeof(int)) ;
adr = &n ;    /* fuite de memoire */
```

Plus aucun pointeur ne pointe vers l'espace alloué par `calloc` !

$\Rightarrow$ cette partie de la mémoire est perdue pour le restant du programme,
il est impossible d'y accéder à nouveau.
(il aurait fallu libérer la mémoire allouée avant de réaffecter **adr**)

$\Rightarrow$ particulièrement grave dans les boucles.

Des fuites de mémoires massives peuvent provoquer un plantage du programme.

Remarque : certains langages (Java, mais pas C) ont des mécanismes de *garbage collector* pour détecter ces espaces perdus.

9.5 Exemple d'allocation dynamique d'un tableau 1D

```c
/* fichier alloc-tab1d2.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* ----- allocation dynamique d'un tableau 1D ---- */
int * alloc_et_init(const int n) {
   int *p=NULL; // pointeur sur entier local => NULL
   p=(int *)calloc(n, sizeof(int)); // affectation pointeur
   if (p == NULL) { // si l'affectation ne marche pas...
     printf("Erreur d'allocation\n");
     return p; // ... retour dans main avec le pointeur nul
   }
   for (int i=0; i < n; i++) {
     p[i]=i; // pointeur sur entier = tableau 1D de int
   }
   return p; // fonction retourne le pointeur (tableau 1D)
}
```

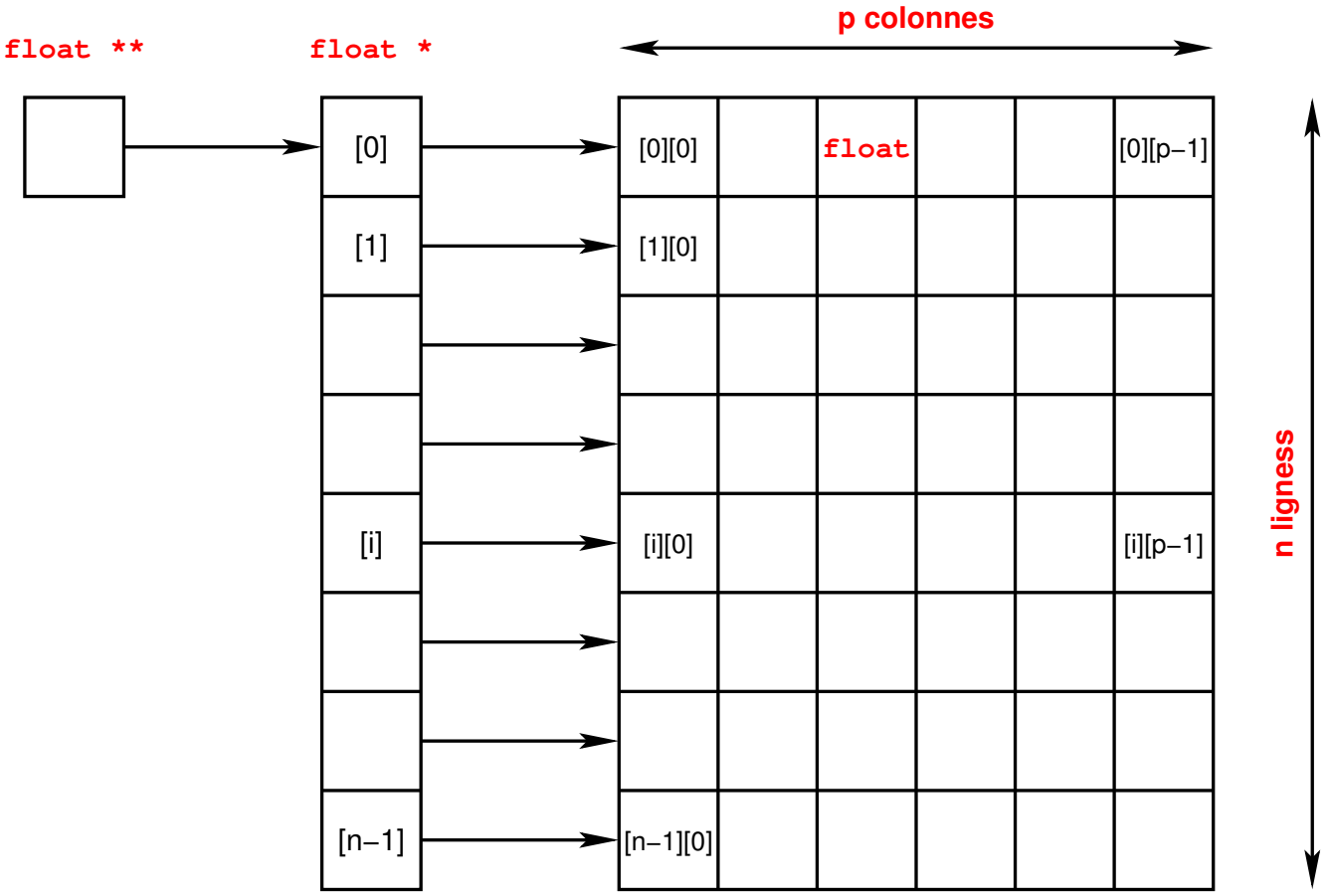
```c
int main(void) {
   int n, *pti = NULL; // pointeur sur entier local => NULL
   printf("Entrer n ");
   scanf("%d",&n);

   pti = alloc_et_init(n); // affectation par retour fonction
   if (pti != NULL) { // si l'allocation marche...
     for (int i=0; i < n; i++) {
       printf("%d ",pti[i]);// ... affichage du tableau 1D
     }
   }
   printf("\n");
   free(pti); // libération de l'espace
   pti=NULL; // sécurité
   exit(0);
}
```

```
Entrer n 6
0 1 2 3 4 5
```

9.6 Exemple d'allocation dynamique d'un tableau 2D

Tableau 2D en C $\Rightarrow$ pointeur de pointeur



```c
/* fichier alloc-tab2d.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int ** alloc2d(const int n, const int p) {
   int *pespace=NULL, **ptab=NULL;

// 1) Allocation de l'espace pour la matrice
   pespace=(int *)calloc(n*p, sizeof(int));
   if (pespace == NULL) { // pb allocation
      return ptab;
   }

// 2) Allocation du vecteur de pointeurs
   ptab=(int **)calloc(n,sizeof(int *));
   if (ptab == NULL) { // pb allocation
      return ptab;
   }
```

```
// 3) Affectation au debut de chaque ligne
   for (int i=0; i < n; i++) {
      ptab[i]=&pespace[i*p];
        // ou pespace + i*p
   }
   return ptab; // !! ptab est déclaré sur le tas
}

int main(void) {
   int n, p, **pti = NULL; /* initialisation à NULL */

   printf("Entrer n et p ");
   scanf("%d %d",&n, &p);
   pti=alloc2d(n, p);
   if (pti != NULL) { // allocation OK
     for (int i=0; i < n; i++) {
```

```
        for (int j=0; j < p; j++) {
            pti[i][j]=i*j;
            printf("%d ",pti[i][j]);
        }
        printf("\n");
    }
  }
  free(pti[0]); // libération de la matrice
  free(pti); // libération du vecteur
  pti=NULL; // sécurité
  exit(0);
}
```

```
Entrer n et p 3 6
0 0 0 0 0 0
0 1 2 3 4 5
0 2 4 6 8 10
```

9.7 La bibliothèque `libmnitab`

Dans le cas des tableaux sur le tas : **utiliser la bibliothèque libmnitab**

⇒ directive préprocesseur `#include "mnitab.h"`

⇒ compilation avec `gcc+mni` ou `gcc+mni-c99`

⇒ édition des liens avec `-lmnitab`

Cette bibliothèque contient de nombreuses fonctions permettant de gérer la mémoire dynamique.

Exemples :

— Allocation et libération de tableau 1D de doubles :

```
double *double1d(int n)
```
pour allouer l'espace et

```
void double1d_libere(double *vec)
```
pour libérer l'espace

— Allocation et libération de tableaux 2D de floats :

```
float **float2d(int n, int p)
```
pour allouer l'espace et

```
void float2d_libere(float **mat)
```
pour libérer l'espace

— d'autres fonctions de calcul de min ou de max...

9.7.1 Exemple de passage d'un tableau dynamique 1D

```c
/* fichier C99/tab1d-dyn.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "mnitab.h" // utilisation de la bibliotheque libmnitab
// passage en argument d'un tableau 1d dynamique
// => il faut aussi passer la taille du tableau à la fct
void init_et_print(int n, double *t);
void init_et_print(int n, double *t) {
  for (int i=0; i < n; i++) {
    t[i] = (double) 1/(i + 1.);   // affectation
    printf("%4g ",t[i]);          // affichage
  }
  printf("\n");
  return; // fonction sans retour
}
```

```c
int main(void) {
  int n;
  double *tab=NULL;  // declaration d'un pointeur sur un double
  printf("Entrer n:  ");
  scanf("%d", &n);
  tab = double1d(n); // allocation dynamique au moyen de la bibliotheque
  init_et_print(n,tab); // passage par copie d'adresse de tab
  printf("dans main : tab[n-1]=%g\n",tab[n-1]);
  double1d_libere(tab); // liberation de l'espace memoire
  tab = NULL; // par precaution
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
Entrer n:  4
   1  0.5 0.333333 0.25
dans main : tab[n-1]=0.25
```

9.7.2 Exemple de passage d'un tableau dynamique 2D

```c
/* fichier C99/tab2d-dyn.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "mnitab.h" // utilisation de la bibliotheque libmnitab
// passage en argument d'un tableau 2d dynamique
// => il faut aussi passer la taille du tableau à la fct
void init_et_print(int n, int p, double **t);
void init_et_print(int n, int p, double **t) {
  for (int i=0; i < n; i++) {
    for (int j=0; j < p; j++) {
      t[i][j]=(double) 1./(i+j+1.);   // affectation
      printf("%10g ",t[i][j]);          // affichage
    }
    printf("\n");
  }
  return; // fonction sans retour
}
```

```c
int main(void) {
  int n, p;
  double **tab=NULL; // declaration d'un double pointeur sur un double
  printf("Entrer n et p:  ");
  scanf("%d %d", &n, &p);
  tab = double2d(n,p); // allocation dynamique d'un tableau 2d de double
  init_et_print(n,p,tab); // passage par copie d'adresse de tab
  printf("dans main : tab[n-1][p-1]=%g\n",tab[n-1][p-1]);
  double2d_libere(tab); // liberation de la memoire allouee
  tab = NULL; // dissociation du pointeur
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
Entrer n et p:  3 4
          1         0.5    0.333333        0.25
        0.5    0.333333        0.25         0.2
   0.333333        0.25         0.2    0.166667
dans main : tab[n-1][p-1]=0.166667
```

9.8 Bilan sur l'allocation de mémoire

Quand utiliser l'allocation automatique (sur la **pile**) **?**

Si le tableau est utilisé :

- dans la fonction où il est déclaré,
- ou dans une fonction appelée par celle-ci,

$\Rightarrow$ préférer les tableaux de taille variables sur la pile (`int tab[n][p]`)

Quand utiliser l'allocation dynamique (sur le **tas**) **?**

On peut TOUJOURS utiliser des tableaux dynamiques.

C'est indispensable si le tableau est utilisé dans la fonction appelant la fonction où le tableau est défini

$\Rightarrow$ utiliser les allocations dynamiques (`int **tab`)

Attention : les deux types de déclarations ne sont pas équivalentes

$\Rightarrow$ ne pas mélanger les syntaxes.

Pour les tableaux dynamiques : penser à utiliser la bibliothèque **`libmnitab`**.

10 Chaînes de caractères

10.1 Définition et usage

En C, il n'y a pas de type ≪ chaîne de caractères ≫

⇒ on utilise des **tableaux de caractères**

qui se terminent par le caractère fin de chaîne : `\0`.

Ces tableaux peuvent être **statiques**, **automatiques** ou **dynamiques**.

Il existe une **bibliothèque standard** contenant des fonctions permettant de manipuler les tableaux de caractères.

Dans la pratique, les chaînes de caractères les plus répandues sont :

- le premier argument des fonctions `printf` et `scanf`,
- les noms des fichiers manipulés par le programme,
- etc ...

10.2 Exemple de tableaux de caractères de taille fixe

```c
/* fichier char-elem_stat.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h> // contient le prototype de strlen, etc...
#define N 5
// --------- tableaux de caracteres de taille fixe -------
int main(void){
  // declaration sans affectation:
  char cfixe1[N]; // tableau de N-1 caracteres + \0
  // Declaration avec affectation:
  char cfixe2[N]={'O','u','i','\0'}; // doit inclure \0
  // Declaration avec affectation (methode conseillee):
  char cfixe3[N]= "Non"; // sans preciser le \0
```

```
  // Affectation du premier tableau a l'aide d'une boucle:
  for(int i=0;i<N-1;i++){     // attention: indice de 0 a N-2
    cfixe1[i] = 'z';
    printf("%c", cfixe1[i]); // format %c pour un seul caractere
  }
  // Inclusion du caractere de fin de chaine (\0) - imperatif:
  cfixe1[N-1] = '\0';
  // Affichage de la taille (sans \0) a l'aide de la fonction strlen:
  printf("\nLongueur de la 1ere chaine:  %d\n", (int) strlen(cfixe1));
  printf("Longueur de la 2eme chaine:   %d\n", (int) strlen(cfixe2));
  printf("Longueur de la 3eme chaine:   %d\n", (int) strlen(cfixe3));
  // Affichage des tableaux de caracteres (format %s pour une chaine):
  printf("Affichage du 1er tableau:  %s\n", cfixe1);
  printf("Affichage du 2eme tableau: %s\n", cfixe2);
  printf("Affichage du 3eme tableau: %s\n", cfixe3);
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
zzzz
Longueur de la 1ere chaine:  4
Longueur de la 2eme chaine:  3
Longueur de la 3eme chaine:  3
Affichage du 1er tableau:  zzzz
Affichage du 2eme tableau: Oui
Affichage du 3eme tableau: Non
```

10.3 Exemple de tableaux de caractères de taille quelconque

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h> // contient prototype de strlen, etc...
// --------- tableaux de caracteres de taille quelconque -------
int main(void){
  int nb;  // nombre de caracteres
  char *cvar1 = "Bonjour!";     // taille calculee a l'initialisation
  char cvar2[] = "Re-bonjour"; // taille calculee a l'initialisation
  char *cvar3 = NULL;           // tableau dynamique de caracteres
  printf("Nombre de caracteres (tableaux dynamique et automatique):\n");
  scanf("%d", &nb); // choix du nombre de caracteres par l'utilisateur
  cvar3 = (char *) calloc(nb+1,sizeof(char)); // allocation dynamique
  char cvar4[nb+1];   // declaration tardive d'un tableau automatique
  // Affectation des tableaux a l'aide d'une boucle:
  for(int i=0;i<nb;i++){   // attention: indice de 0 a nb
```

```
    cvar3[i] = 'd';
    cvar4[i] = 'a';
  }
  // Inclusion du caractere de fin de chaine (\0) - imperatif
  cvar3[nb] = '\0';
  cvar4[nb] = '\0';
  // Affichage de la taille (sans \0) a l'aide de la fonction strlen:
  printf("Longueur 1ere chaine: %d\n", (int) strlen(cvar1));
  printf("Longueur 2eme chaine: %d\n", (int) strlen(cvar2));
  printf("Longueur 3eme chaine (dynamique): %d\n", (int) strlen(cvar3));
  printf("Longueur 4eme chaine (automatique): %d\n", (int) strlen(cvar4));
  // Affichage des tableaux de caracteres:
  printf("Affichage du premier tableau: %s\n", cvar1);
  printf("Affichage du deuxieme tableau: %s\n", cvar2);
  printf("Affichage du tableau dynamique: %s\n", cvar3);
  printf("Affichage du tableau automatique: %s\n", cvar4);
  free(cvar3); // liberation de la memoire allouee dynamiquement
```

```
  cvar3=NULL;   // par precaution
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
Nombre de caracteres (tableaux dynamique et automatique):
5
Longueur 1ere chaine:  8
Longueur 2eme chaine:  10
Longueur 3eme chaine (dynamique):  5
Longueur 4eme chaine (automatique):  5
Affichage du premier tableau: Bonjour!
Affichage du deuxieme tableau: Re-bonjour
Affichage du tableau dynamique: ddddd
Affichage du tableau automatique: aaaaa
```

10.4 Déclaration et affectation des chaînes de caractères

10.4.1 Chaîne de longueur fixe

— `char st1[4] = "oui" ;` (**méthode conseillée**)
pas besoin de spécifier le caractère de fin de chaîne `\0`

— `char st1[4] = {'o','u','i','\0'} ;`
il est impératif d'inclure le caractère de fin de chaîne `\0`

10.4.2 Chaîne de longueur calculée à l'initialisation

— `char *st2 = "oui" ;` (**méthode conseillée**)

— `char st2[] = "oui" ;` (**méthode conseillée**)

NB : ceci n'est possible qu'à la déclaration, car les chaînes étant des tableaux, on ne peut pas faire d'affectation globale (c'est-à-dire de tous les éléments en une seule instruction).

L'utilisation de tableaux automatiques et dynamiques est possible.
L'utilisation de boucles pour l'affectation peut s'avérer peu pratique.

10.5 Manipulation des chaînes de caractères

Prototypes des fonctions dans `string.h`

⇒ directive préprocesseur `#include <string.h>`

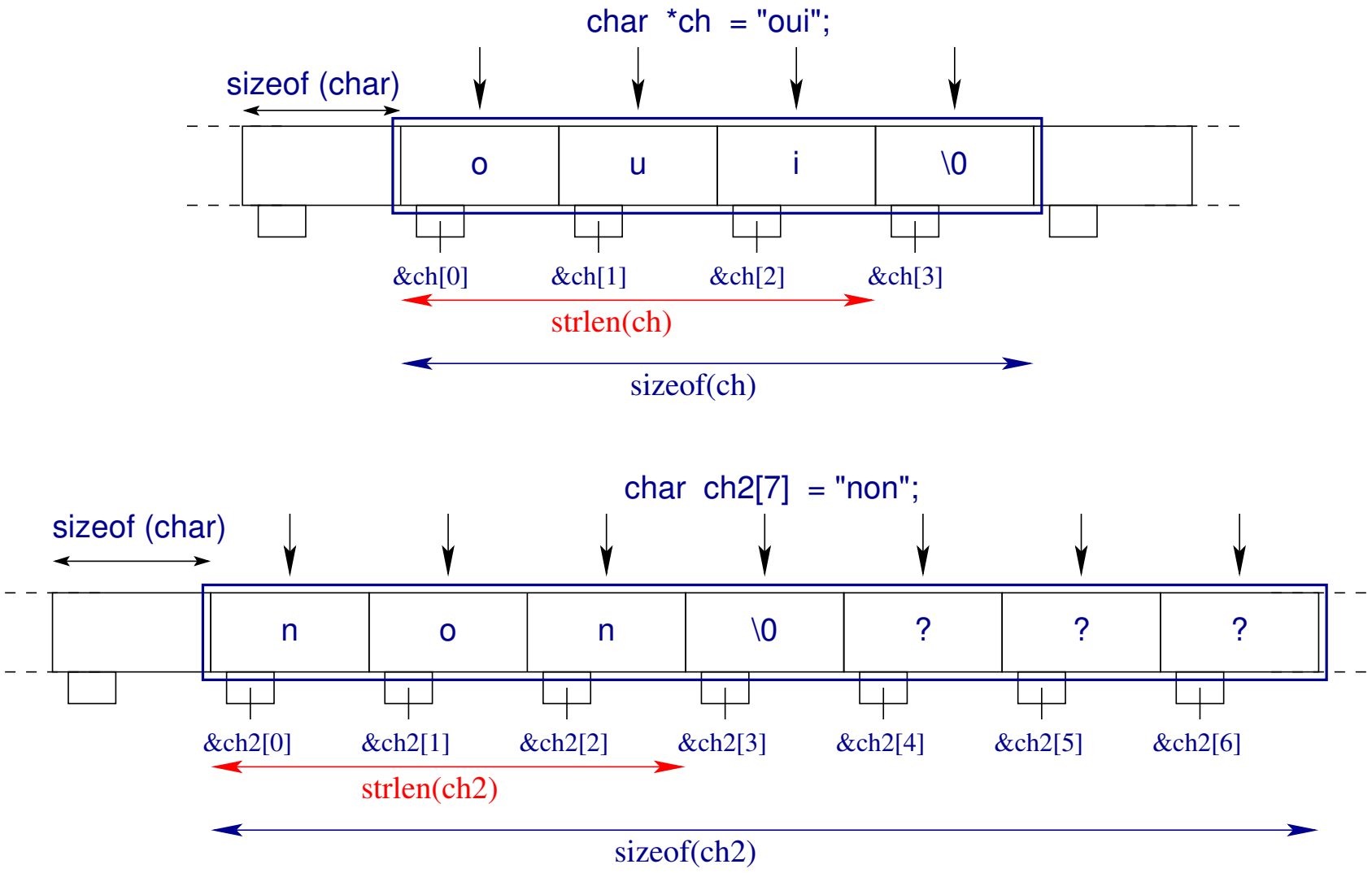
10.5.1 Longueur d'une chaîne avec `strlen`

Prototype : `size_t strlen(const char *s) ;`

Calcul de la longueur d'une chaîne sans le caractère fin de chaîne.

Exemple :

```
char ch[]="oui";
char ch2[7]="non";
printf("%d\n", sizeof(ch));  // => 4 ('o' 'u' 'i' '\0')
printf("%d\n", strlen(ch));  // => 3 ('o' 'u' 'i')
printf("%d\n", sizeof(ch2)); // => 7 ('n' 'o' 'n' + '\0'+3)
printf("%d\n", strlen(ch2)); // => 3 ('n' 'o' 'n')
```


char *ch = "oui";
sizeof (char)
o
u
i
\0
&ch[0]
&ch[1]
&ch[2]
&ch[3]
strlen(ch)
sizeof(ch)
char ch2[7] = "non";
sizeof (char)
n
o
n
\0
?
?
?
&ch2[0]
&ch2[1]
&ch2[2]
&ch2[3]
&ch2[4]
&ch2[5]
&ch2[6]
strlen(ch2)
sizeof(ch2)

10.5.2 Concaténation de chaînes avec `strcat`

Prototype :

```
char *strcat(char *dest, const char *source) ;
```

Concatène (ajoute) la chaîne **source** à la chaîne **dest** et renvoie un pointeur sur **dest**. Gère le caractère `\0`.

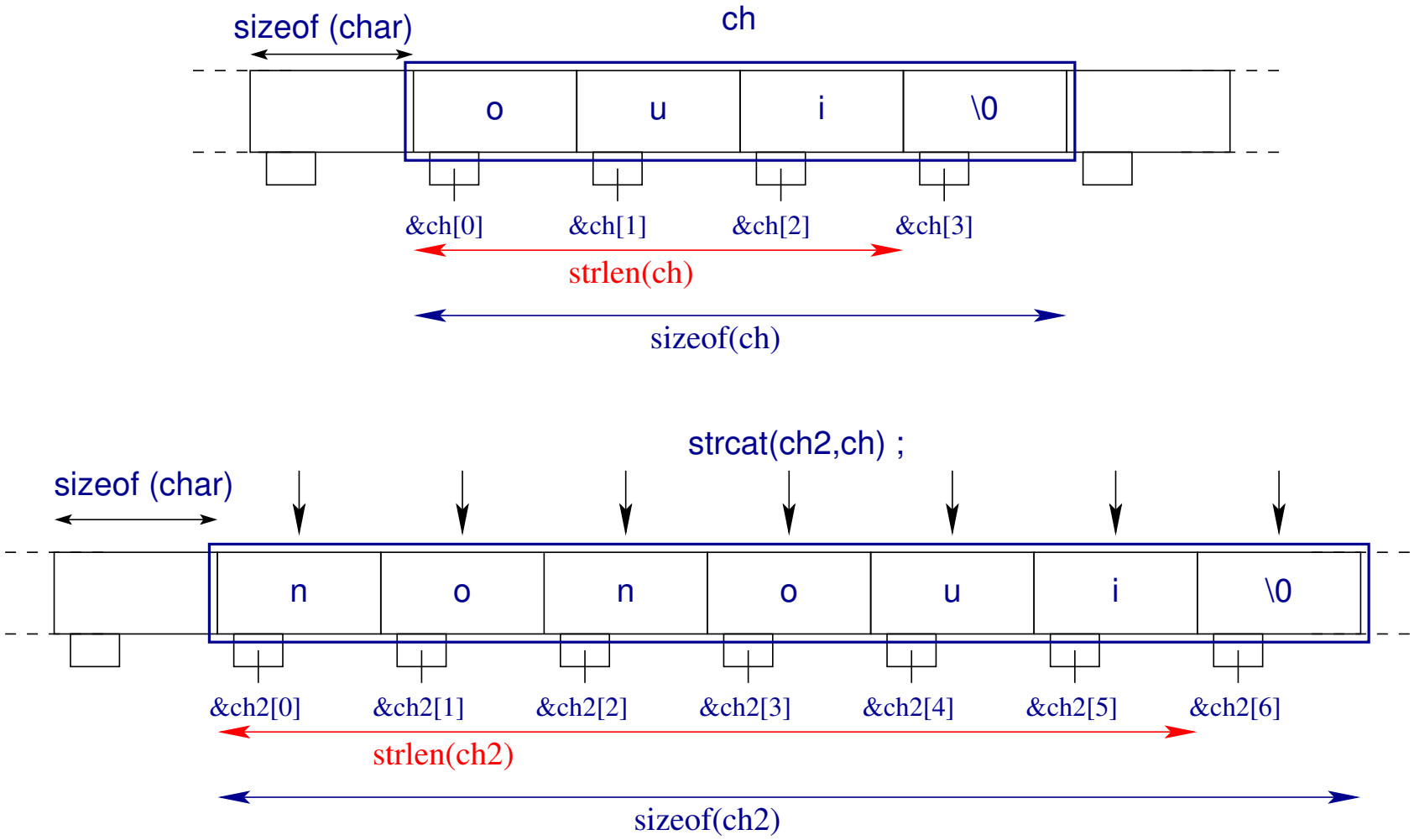
Attention : dest doit être de longueur suffisante au risque de `segmentation fault`. La contrainte sur la taille de **dest** est :

```
sizeof(dest) >= strlen(dest) + strlen(source) + 1
```

Exemple :

```
strcat(ch2,ch); // concatenation
printf("%s\n",ch2); // => nonoui
printf("%d\n", strlen(ch2)); // => 6
```

Noter le format `%s` dans `printf`


sizeof (char)
ch
o
u
i
\0
&ch[0]
&ch[1]
&ch[2]
&ch[3]
strlen(ch)
sizeof(ch)
strcat(ch2,ch) ;
sizeof (char)
n
o
n
o
u
i
\0
&ch2[0]
&ch2[1]
&ch2[2]
&ch2[3]
&ch2[4]
&ch2[5]
&ch2[6]
strlen(ch2)
sizeof(ch2)

10.5.3 Copie d'une chaîne avec `strcpy`

Prototype :

```
char *strcpy(char *dest, const char *source) ;
```

Copie la chaîne **source** dans la chaîne **dest** et renvoie un pointeur sur **dest**.
La valeur de retour est d'intérêt limité.

Attention : dest doit être de longueur suffisante au risque de `segmentation fault`. La contrainte sur la taille de **dest** est :

```
sizeof(dest) >= strlen(dest) + strlen(source) + 1
```

Attention : la fonction `strcpy` **ne gère pas le caractère** `\0`. Le programmeur doit s'assurer qu'il est présent dans **source** avant d'effectuer la copie.

Exemple :

```
char *ch="oui";  // chaine de 3 caracteres + \0
char ch2[7];  // chaine de taille totale 7
strcpy(ch2,ch); // copie
printf("%s\n", ch2);   // => oui
```

10.5.4 Comparaison de chaînes avec `strcmp`

Prototype :

```
int strcmp(const char *s1, const char *s2) ;
```

Renvoie un **entier positif**, **nul** ou **négatif** si `s1` est plus grand, égal, plus petit que `s2` (dans l'ordre lexicographique).

Exemple :

```
char *ch="oui";
char ch2[7]="non";
printf("%d\n", strcmp(ch,ch2));    // => 1 ("oui" > "non")
```

10.5.5 Recherche d'un caractère dans une chaîne avec `strchr`

Prototype : `char *strchr(const char *s, int c) ;`

Renvoie un **pointeur de caractère** vers la première occurrence de `c` dans la chaîne `s`, ou `NULL` si `c` n'est pas trouvé.

Exemple :

```
char *ch="oui";
char *pc;
pc = strchr(ch, 'u');
printf("%d\n", pc - ch);    // => 1 (car ch[1]='u')
```

10.5.6 Recherche d'une sous-chaîne dans une chaîne avec `strstr`

Prototype :

```
char *strstr(const char *foin, const char *aiguille) ;
```

Renvoie un **pointeur** vers la première occurrence de la sous-chaîne **aiguille** dans la chaîne **foin**, ou **NULL** si **aiguille** n'est pas trouvée.

Exemple :

```
char *ch2="nonoui";
char *aig="nou", *pc;
pc = strstr(ch2, aig);
printf("%d\n", pc - ch2);    // => 2
```

11 Entrées–sorties

11.1 Introduction

Jusqu'à présent, nos programmes fonctionnaient en interactif, et utilisaient les entrées-sorties dites **standard** :

- lecture des entrées sur le **clavier** (`stdin`)
- écriture des sorties sur l'**écran** (`stdout`)

⇒ utilisation de `printf` et `scanf` (prototypes dans `stdio.h`)

Pour utiliser des informations stockées de façon permanente, ou pour stocker des informations, on a besoin de manipuler des **fichiers**. En particulier :

- **ouvrir/fermer un fichier à partir d'un programme**,
- **accéder au contenu du fichier** (de manière séquentielle ou directe),
- **effectuer des opérations sur le fichier** (lecture/écriture).

⇒ utilisation de `fopen`, `fclose`, `fprintf`, `fscanf`, ...
(prototypes dans `stdio.h`)

11.1.1 Rappel : les fonctions `printf` et `scanf`

Les fonctions **`printf`** et **`scanf`** sont des fonctions d'entrée-sortie standard.

Leur prototype est dans le fichier : `stdio.h`

$\Rightarrow$ directive préprocesseur (compilation) : `#include <stdio.h>`

Prototypes :
```
int printf(const char* format, ...) ;
int scanf(const char* format, ...) ;
```

- valeur de retour du type **`int`**
  - **`printf`** : le nombre de caractères écrits si tout se passe bien ou un nombre négatif en cas d'erreur.
  - **`scanf`** : le nombre de variables effectivement lues si tout se passe bien ou un nombre négatif en cas d'erreur.
- nombre variable d'arguments : **`...`**, dont au moins une chaîne de caractères

Remarque : si on ne s'intéresse pas aux valeurs de retour de ces fonctions, elles peuvent être appelées comme des fonctions sans retour.

11.1.2 Exemple introductif

```
/* programme lecture-elem.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
//--------- exemple entree/sortie ------------------------
// on suppose qu'on dispose de fichiers contenant deux champs:
// premier champ:  nom des etudiants
// deuxieme champ: notes des etudiants
int main(void) {
  int n;
  char fichier[80]; // nom externe du fichier
  FILE *pfich=NULL; // declaration du flux (nom interne du fichier)
  char nom[20];     // nom etudiant
  float note;       // note etudiant
  printf("Quel fichier ouvrir ?\n"); // affichage a l'ecran
  scanf("%s", fichier);  // lecture du nom de fichier (clavier)
```

```
  pfich=fopen(fichier,"r"); // ouverture du fichier en lecture
  if (pfich == NULL) {   // en cas de probleme...
     exit(EXIT_FAILURE); // ... arreter l'execution
  }
  while(1) { // boucle (a priori) infinie
    // on utilise la valeur de retour de fscanf:
    n=fscanf(pfich,"%s %f", nom, &note); // lecture du fichier
    if (n == EOF) {  // EOF = End Of File
      break;         // on quitte la boucle en fin de fichier
    }
    printf("%s %g\n", nom, note);   // affichage a l'ecran
  }
  fclose(pfich);  // fermeture du flux
  exit(EXIT_SUCCESS) ;
}
```

11.2 Type de fichiers et accès

On distingue deux types de fichiers :

— **fichier binaire :** fichier dans lequel les données sont écrites comme en mémoire.

— **fichier formaté :** c'est un fichier texte.

fichiers	**formatés**	**binaires**
	saisie et affichage	comme en mémoire
compacité	–	+
rapidité des E/S	–	+
précision conservée	–	+
portabilité	+	–

On distingue deux manières d'accéder aux informations du fichier :

— **accès séquentiel (le plus courant) :** on lit/écrit dans l'ordre dans lequel les informations apparaissent/apparaîteront.

— **accès direct :** on lit/écrit à un endroit particulier du fichier dont les enregistrements sont indexés.

accès aux données	séquentiel	direct
	lire/écrire dans l'ordre	enregistrements indexés

Par défaut l'accès est séquentiel.

L'accès direct se fait au moyen de fonctions `fseek`, `ftell`,...

11.3 Ouverture et fermeture d'un fichier

On associe un **nom externe de fichier** (une chaîne de caractères)
à un **nom interne dans le programme** (un pointeur sur `FILE`).
Le nom interne est aussi appelé **flux**.

11.3.1 Déclaration d'un flux

Un flux est un pointeur sur une structure de type `FILE`.
`FILE` est le type d'un objet contenant toutes les informations nécessaire à la gestion d'un fichier

La déclaration d'un flux `pfich` se fait au moyen de l'instruction :

```
FILE *pfich = NULL;  // pfich: nom interne ou flux
```

Important : initialiser `pfich` à `NULL`.

Remarque : aucun lien effectif à ce niveau entre le flux et le fichier.

11.3.2 Ouverture d'un flux avec `fopen`

Le lien entre nom interne et nom externe est fait à l'ouverture d'un flux.

Prototype :

```
FILE *fopen(const char *nom_externe, const char *mode) ;
```

Valeur de retour :

pointeur sur `FILE` (flux) si tout se passe bien et le pointeur `NULL` sinon.

$\Rightarrow$ toujours tester la valeur retournée pour s'assurer de la bonne ouverture du flux

Arguments :

- **`nom_externe`** : chaîne de caractères indiquant le nom externe du fichier,
- **`mode`** : chaîne de caractères indiquant le mode d'ouverture du fichier

valeur		position	ajouter (facultatif)
`"r"`	read	début du fichier	**`+`** si mise à jour (lecture+écriture)
`"w"`	write	début du fichier	**`b`** si binaire
`"a"`	append	fin du fichier	

Mode **`"r"`** : erreur si le fichier n'existe pas

Mode **`"w"`** : le fichier est créé s'il n'existe pas, écrasé s'il existe

Mode **`"a"`** : le fichier est créé s'il n'existe pas ; écriture à la fin du fichier s'il existe

11.3.3 Fermeture d'un flux avec `fclose`

Prototype : `int fclose(FILE *stream) ;`

11.3.4 Exemple d'ouverture/fermeture d'un fichier

```c
/* programme fich.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void) {
  FILE *pfich = NULL; // important: initialiser pfich a NULL
  pfich=fopen("../rep1/rep2/toto.txt","w");
  if (pfich == NULL) { // en cas de probeme...
    printf("Le fichier ../rep1/rep2/toto.txt n'existe pas\n");
    exit(EXIT_FAILURE); // ... arreter l'execution
  }
  // ... instructions...
  fclose(pfich); // fermer le flux avant d'arreter l'execution
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

11.4 Entrée-sorties formatées

Les opérations sur les fichiers se font sous forme texte.
Il est recommandé d'utiliser un flux ouvert en mode texte (le cas par défaut).

11.4.1 Ecriture avec `fprintf`

```
int fprintf(FILE* stream, const char* format, ...) ;
```

Appartient à la famille de `printf` : indiquer le **flux** en plus.

Valeur de retour : la fonction **`fprintf`** renvoie
- le nombre de caractères écrits si tout se passe bien,
- ou un nombre négatif en cas d'erreur.

Remarques :
- `printf` = `fprintf(stdout,...)`
- Pour écrire des messages d'erreurs, il vaut mieux utiliser :
  `fprintf(stderr, "Erreur...")` que
  `printf("Erreur...")`

11.4.2 Lecture avec `fscanf`

```
int fscanf(FILE* stream, const char* format, ...) ;
```

Appartient à la famille de `scanf` : indiquer le **flux** en plus.

Valeur de retour : la fonction **`fscanf`** renvoie

- le nombre de variables attendues si tout se passe bien,
- un nombre négatif en cas d'erreur.
  L'entier retourné peut être égal à la constante `EOF` (end of file) si l'on a atteint la fin du fichier.

Remarque : `scanf` = **`f`**`scanf(`**`stdin`**`,...)`

11.4.3 Bilan sur les entrées-sorties formatées

Il existe deux familles de 3 fonctions en C pour lire/écrire :

- sur les entrée/sortie standards
- dans les fichiers
- dans les chaînes de caractères

stdout	`printf(format [,liste de variables])`
fichier	`fprintf(FILE* stream, format [,liste d'expressions])`
chaîne	`sprintf(char* string, format [,liste d'expressions])`

stdin	`scanf(format,liste d'adresses)`
fichier	`fscanf(FILE* stream, format,liste de pointeurs)`
chaîne	`sscanf(char* string, format,liste de pointeurs)`

11.5 Entrées-sorties non formatées (binaires)

Les opérations sur les fichiers se font sous forme binaire.
Il est fortement recommandé d'utiliser un flux ouvert en mode binaire.

11.5.1 Lecture avec `fread`

Prototype : `size_t fread(void *ptr, size_t taille, size_t nbloc, FILE *stream) ;`

La fonction **`fread`** :

- lit **`nbloc`** (le plus souvent 1) de taille **`taille`** dans le flux **`stream`** et les écrit à partir de l'adresse **`ptr`**.
- retourne le nombre de blocs effectivement lu
  $\Rightarrow$ erreur si ce nombre est différent de **`nbloc`**.
  Cette erreur peut être la rencontre de la fin du fichier.

11.5.2 Écriture avec `fwrite`

Prototype :

```
size_t fwrite(const void *ptr, size_t taille,
    size_t nbloc, FILE *stream) ;
```

La fonction **`fwrite`** :

- écrit **`nbloc`** (le plus souvent 1) de taille **`taille`** situés à l'adresse **`ptr`** dans le flux **`stream`**.
- retourne le nombre de blocs effectivement écrits
  $\Rightarrow$ erreur si ce nombre est différent de **`nbloc`**.

11.6 Retour sur les formats d'entrée–sortie

(gabarit : `w` =largeur, `p`= précision)

entiers	
décimal	%w[.p]**d**
octal	%w**o**
hexadécimal	%w**x**
réels	
virgule fixe	%w[.p]**f**
virgule flottante (notation scientifique)	%w[.p]**e**
général (combinaison)	%w[.p]**g**
caractères	
caractères	%w[.p]**c**
chaîne	%w[.p]**s**

Voir la section entrées-sorties standard élémentaires.

La largeur **w** est facultative pour les formats `%d`, `%f`, `%e`, `%g`, `%s`

Si la largeur **w** est insuffisante, elle est élargie pour écrire l'expression.

Si le nombre de descripteurs $\neq$ nb d'éléments de la liste d'E/S, le nb de descripteurs prime

$\Rightarrow$ risque d'accès mémoire non réservée

11.7 Exemple de lecture de fichier formaté en C

```c
/* programme lecture.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* lecture du fichier donnees */
int main(void) {
char nom[20] ;    /* limitation des chaînes à 20 caractères */
char article[50] ;
int nombre ;
float prix, dette ;
int n , ligne=1;
FILE *pf = NULL ; /* pointeur sur le flux d'entrée */
//char *fichier ="donnees";  /* nom du fichier formaté */
char fichier[80];
```

```
printf("Quel fichier ouvrir ?\n");
scanf("%s", fichier);  // lecture du nom de fichier
pf=fopen(fichier,"r"); // ouverture du fichier
if (pf == NULL) {      // pb d'ouverture
   fprintf(stderr, "erreur ouverture du fichier %s\n", fichier) ;
   exit (EXIT_FAILURE) ;
}
printf("Le fichier %s s'ouvre correctement\n", fichier) ;

while(1) { // boucle de lecture des données
  n=fscanf(pf,"%s %s %d %f",nom,article,&nombre,&prix);
  if (n == EOF) { // on quitte la boucle en fin de fichier
     break;
  }
```

```
  if (n == 4) {   /* si fscanf a réussi à convertir 4 variables */
      dette = nombre * prix ;
      printf("%s %s \t %2d x %6.2f = %8.2f\n",nom,article,
             nombre,prix,dette);
      ligne++;
  } else {
      fprintf(stderr, "problème fscanf ligne %d\n", ligne);
      exit (EXIT_FAILURE) ;
  }
}
/* sortie normale par EOF */
printf("fin de fichier %d lignes lues \n", ligne-1);
fclose(pf) ;       /* fermeture du fichier */
exit(EXIT_SUCCESS) ;
}
```

donnees

```
dupond cafe 5 10.5
durand livre 13 60.2
jean disque 5 100.5
paul cafe 6 12.5
jean disque 4 110.75
julie livre 9 110.5
```

resultat

```
Quel fichier ouvrir ?
donnees
Le fichier donnees s'ouvre correctement
dupond cafe       5 x  10.50 =    52.50
durand livre     13 x  60.20 =   782.60
jean disque       5 x 100.50 =   502.50
paul cafe         6 x  12.50 =    75.00
jean disque       4 x 110.75 =   443.00
julie livre       9 x 110.50 =   994.50
fin de fichier 6 lignes lues
```

11.8 Fonctions supplémentaires

Lecture

```
char *fgets(char *s,
            int size, FILE *stream)
```

permet de lire `size` caractères dans la chaîne `s` à partir du flux `stream` (éventuellement `stdin`).
Contrairement à `fscanf(stream, "%s",...)`, `fgets` ne s'arrête pas à la rencontre d'un caractère espace mais en fin de ligne.
La valeur de retour est l'adresse de la chaîne lue quand tout s'est bien passé, ou égale à `NULL` en cas d'erreur.

Écriture

```
int fputs(const char *s,
          FILE *stream)
```

permet d'écrire la chaîne `s` dans le flux `stream` (éventuellement `stdout` ou `stderr`).

La valeur de retour est non négative quand tout s'est bien passé, ou égale à `EOF` en cas d'erreur.

12 Structures ou types dérivés

12.1 Intérêt des structures

Tableau = agrégat d'objets de même type repérés par un indice entier

Structure = agrégat d'objets de types différents (chaînes de caractères, entiers, flottants, tableaux...) repérés par un nom de champ.

$\Rightarrow$ représentation de données composites et manipulation champ par champ ou globale (passage en argument des procédures simplifié)

Structures statiques : champs de taille fixe

Structures dynamiques : comportant des champs de taille variable

On utilise une structure quand les objets manipulés ont un lien entre eux :

- différentes informations associées à une personne : nom, prénom, adresse, numéro de téléphone, ...
- différentes informations associées à un point du plan : nom, abscisse, ordonnée.
- échantillon de mesure sous ballon sonde : altitude, pression, température, humidité, vitesse, orientation du vent.

12.1.1 Exemple introductif de structures

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 4 // nombre de points

// definition de la structure:
struct point{  // revient a definir un nouveau type
  int no;      // numero du point
  double x;    // abscisse du point
  double y;    // ordonnee du point
}; // ne pas oublier ;

int main(void){
  // declarations de variables de type struct point:
  struct point p;  // variable ordinaire de type struct point
  struct point courbe[N]; // tableau d'elements de type struct point
```

```
  // affectation de la structure:
  for(int i=0; i<N; i++){
    p.no = i + 1;       // affectation du premier   champ de p
    p.x = 1./(i+1.);    // affectation du deuxieme  champ de p
    p.y = 2.*i;         // affectation du troisieme champ de p
    courbe[i] = p;      // affectation de l'element i de courbe
  }
  // affichage des elements de la structure:
  printf("Affichage des donnees:\n");
  for(int i=0; i<N; i++){
    printf("%d %g %g\n", courbe[i].no, courbe[i].x, courbe[i].y);
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
1 1         0
2 0.5       2
3 0.333333 4
4 0.25      6
```

Caractéristiques de ce programme :

- définition d'une structure `point`,
- déclaration d'une variable du type `struct point` et d'un tableau dont chaque élément est du type `struct point`,
- affectation des structures champ par champ,
- affichage des résultats champ par champ.

12.2 Définition, déclaration et initialisation des structures

12.2.1 Définition d'un type structure `point`

Définir une structure correspond à définir **un nouveau type** :

```
struct point { // definition de la structure
       int no ;   // 1er   champ
       double x ;  // 2eme  champ
       double y ;  // 3eme  champ
};
```

Important :

- Noter le `;` obligatoire après l'accolade `}`.
- La définition d'une structure ne réserve aucun emplacement mémoire associé à cette structure.

12.2.2 Quels types de champs peut-on mettre dans une structure ?

- **Tous les types de base du langage** (`char`, `int`, `double`...)
- **Des structures** (sauf du type en train d'être défini)
- **Des pointeurs** (y compris sur une structure du type en train d'être défini)
- **Des tableaux de taille fixe**
- **Des tableaux alloués dynamiquement** (sur le tas), via un pointeur
  ($\Rightarrow$ Tableaux automatiques déconseillés : avertissement à la compilation)

12.2.3 Où placer la définition d'une structure ?

La définition de la structure doit être visible dans toutes les fonctions utilisant le type structure déclaré. On doit donc définir la structure en dehors de toute fonction (généralement en **début d'un fichier**), ou mieux dans un fichier `include` (d'extension `.h`)

12.2.4 Déclaration de variables de type structure `point`

Déclarer de 2 variables de type **`struct point`** :

```
struct point debut, fin ;
```

Important : c'est la déclaration de variables du type **`struct point`**, ici **`debut`** et **`fin`**, qui réserve un emplacement mémoire de taille suffisante pour stocker tous les éléments associés à chaque variable.

12.2.5 Affectation d'une structure (constructeur)

Similaire au cas des tableaux :

- L'affectation globale peut se faire à la déclaration :

  ```
  struct point fin={9,5.,2.};
  ```

- En dehors de la déclaration, l'affectation se fait champ par champ.

12.3 Manipulation des structures

12.3.1 Accès aux champs d'une structure

Pour accéder aux champs d'une structure, on utilise l'opérateur `.` et le nom du champ :

```
debut.no = 1; // affectation du 1er champ
debut.x = 0.; // affectation du 2eme champ
debut.y = 0.; // affectation du 3eme champ
```

$\Rightarrow$ L'accès aux différents champs par leur nom est plus lourd que l'accès aux éléments d'un tableau (pas d'indice $\Rightarrow$ pas de boucle). Ce nommage permet toutefois de rendre les programmes plus lisibles.

L'opérateur `.` est prioritaire par rapport à `&` (adresse) et `*` (indirection).

12.3.2 Affectation globale (même type)

Quand 2 structures sont du même type, **et uniquement dans ce cas**,
on peut affecter globalement l'une à l'autre (copie)

```
fin = debut ;
```

Avantage sur les tableaux ! On dit que les structures sont des *lvalue*.

Par contre, **on ne peut pas** tester l'égalité (==) ou la différence (! =) entre 2 structures

```
if (fin == debut) {...
```
est illégal !

A fortiori, on ne peut pas utiliser les autres opérateurs relationnels (<, >...)

12.3.3 Entrées/sorties et structures

Obligatoirement champ par champ :

```
scanf("%d %g %g", &debut.no, &debut.x, &debut.y);
printf("%d %g %g", debut.no, debut.x, debut.y);
```

12.3.4 Retour sur l'exemple introductif

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 4 // nombre de points

// definition de la structure:
struct point{  // revient a definir un nouveau type
  int no;      // numero du point
  double x;    // abscisse du point
  double y;    // ordonnee du point
}; // ne pas oublier ;

int main(void){
  // declarations de variables de type struct point:
  struct point p;  // variable ordinaire de type struct point
  struct point courbe[N]; // tableau d'elements de type struct point
```

```
  // affectation de la structure:
  printf("Entrer les coordonnees des points:\n");
  for(int i=0; i<N; i++){
    p.no = i + 1; // affectation du premier champ de p
    scanf("%lg %lg", &p.x, &p.y); // lecture des coordonnees
    courbe[i] = p; // affectation de l'element i de courbe
  }
  // affichage des elements de la structure:
  printf("Affichage des donnees:\n");
  for(int i=0; i<N; i++){
    printf("%d %g %g\n", courbe[i].no, courbe[i].x, courbe[i].y);
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
Entrer les coordonnees des points:
0. 1.
1. 1.
2. 1.
1.2 1.1
Affichage des donnees:
1 0 1
2 1 1
3 2 1
4 1.2 1.1
```

12.4 Représentation en mémoire des structures

Comme pour les tableaux : les champs des structures sont stockés dans l'ordre de leur déclaration et à proximité les uns des autres en mémoire.

Contrairement aux tableaux : il peut exister des ≪ **octets de remplissage** ≫(*padding* en anglais) entre les différents champs, afin de repecter des contraintes d'alignement.

⇒ la taille (au sens de `sizeof`) d'une structure >= la somme des tailles de ses différents champs.

```
struct mini_point{// definition (aucune reservation memoire)
    float x;  // 4 octets
    short no; // 2 octets
};
printf("%d", sizeof(struct mini_point));
```

Résultat 8 ⇒ **2 octets de remplissage** (sur une machine 32 bits) entre `no` et `x`

12.5 Pointeur sur une structure

On peut déclarer un pointeur sur une structure :

```
struct mini_point mpo, *pmpo=NULL; // declaration
pmpo = &mpo;
```

pmpo pointe alors sur le premier champ de la structure :

pmpo vaut `&mpo.no`

12.6 Exemples de structures (plus ou moins) complexes

12.6.1 Tableaux de structures

```
struct point courbe[9] ; // declaration
courbe[0].x = 2. ;
```

abscisse du premier point de la courbe

12.6.2 Structures contenant un tableau (taille fixe)

```
struct courbe2{ // definition (aucune reservation memoire)
    double x[10];
    double y[10];
};
...
struct courbe2 c; // declaration
c.x[0]=0.5;
c.y[0]=sqrt(c.x[0]);
```

12.6.3 Structures contenant un tableau (taille variable)

Les tableaux automatiques (sur la pile) dans les structures provoquent des avertissements à la compilation ⇒ leur usage est déconseillé.

Utiliser des tableaux dynamiques (sur le tas) ⇒ pointeurs et `malloc` ou `calloc` :

```
struct courbe2{ // definition (aucune memoire reservee)
    int n;
    double *x;
    double *y;
};
...
struct courbe2 c; // declaration
scanf("d, &c.n); // nombre de points
c.x = (double *)calloc(c.n, sizeof(double)); // allocation
c.y = (double *)calloc(c.n, sizeof(double)); // sur le tas
c.x[0]=0.5;
c.y[0]=sqrt(c.x[0]);
```

Attention, dans ce cas, aux **copies superficielles** : (copie du pointeur seulement)

```
struct courbe2 c1, c2; // declaration
...
c2 = c1; // copie superficielle
free(c1.x); // c2.x ne pointe plus vers une zone valide
```

Solution : la **copie profonde** (allouer un espace mémoire pour `c2.x` et y copier tous les éléments du tableau `c1.x`)

```
c2 = c1; // affectation des variables ordinaires
c2.x = (double *)calloc(c2.n, sizeof(double)); // allocation
for (int i=0; i < c2.n; i++) {
    c2.x[i] = c1.x[i]; // copie profonde
}
free(c1.x); // c2.x continue de pointer vers une zone valide
```

12.6.4 Structures contenant une structure

```
struct lieu{  // definition
    char nom[80];
    double longitude;
    double latitude;
};
struct observation{ // definition
    struct lieu ville; // imbrication
    double temperature;
};
...
struct observation obs; // declaration
obs.ville.longitude = 0.; // association de "."
obs.ville.latitude = 45.;
obs.temperature = 273.15;
sprintf(obs.ville.nom, "%s", "Bordeaux");
```

12.6.5 Listes chaînées

Ce sont des structures contenant un pointeur vers une structure du même type

```
struct point {  // definition
        int no ;  //1er champ
        float x ; //2e champ
        float y ; //3e champ
        struct point *next ;
};
```

Elles permettent de mettre en œuvre des ≪ structures ≫ mathématiques de type graphe, arbre, etc.

12.7 Structure et fonction, opérateur flèche

Les structures se comportent comme n'importe quel type du langage.

12.7.1 Passage par copie de valeur

C'est le mode par défaut : à utiliser **quand on ne veut pas modifier l'argument dans la fonction** :

```
void affiche_point(struct point p) {
  printf("%d %g %g\n", p.no, p.x, p.y); //affiche seulement
}
...
struct point po;  // declaration
...
affiche(po); // passage par copie de valeur
...
```

12.7.2 Passage par copie d'adresse

À utiliser **quand on veut modifier l'argument dans la fonction** :

```
void init_point(struct point * p) {
    (*p).no = 1; // modification des valeurs
    (*p).x = 0.;
    (*p).y = 0.;
}
...
struct point po;
...
affiche(&po); // passage par copie d'adresse
...
```

12.7.3 Opérateur flèche

Afin d'éviter la notation lourde : `(*p_struct).champ`

utiliser l'opérateur **->** (**défini uniquement pour les structures**) :

```
p_struct -> champ
```

On écrira la fonction précédente sous la forme :

```
void init_point(struct point * p) {
    p->no=1;
    p->x=0.;
    p->y=0.;
}
```

12.8 Valeur de retour

Une fonction peut renvoyer une structure (elle est alors du type **struct** nom **struct**) :

```
struct point cree_point(int a, double b, double c){
   struct point p; // declaration
   p.no = a;
   p.x = b;
   p.y = c;
   return p;
}
...
struct point po;
int n;
double x0, y0;
...
po = cree_point(n,x0,y0);
...
```

12.9 Exemple final

```c
/* Fichier point.h */
#ifndef POINT
#define POINT
struct point { // définition du type point
  int no;  /* numéro */
  float x; /* abscisse */
  float y; /* ordonnee */
};
#endif POINT /*POINT */
```

```c
// programme sym3_pt.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "point.h"
```

```c
struct point psym(struct point m){
// fonction à valeur de retour de type struct point
  struct point symetrique;
  symetrique.no = -m.no; // changement de signe
  symetrique.x = m.y; // échange entre x et y
  symetrique.y = m.x;
  return symetrique;
}

void sym(struct point m, struct point *n) {
// chgt de signe de no et échange x/y
  n->no = -m.no;
  n->x = m.y;
  n->y = m.x;
}
```

```c
int main(void){
  struct point a ={5, 1. ,-2.}; // déclaration de a
  struct point b, c;  // déclaration de type struct point

  // affichage des champs de a
  printf("a = %d %g %g\n", a.no, a.x, a.y);

  // calcul et affichage de b
  b=psym(a);
  printf("psym(a) = %d %g %g\n", b.no, b.x, b.y);

  // calcul et affichage de c
  sym(a, &c);
  printf("sym. de a = %d %g %g\n", c.no, c.x, c.y);
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Résultat à l'exécution :

```
a = 5 1 -2
psym(a) = -5 -2 1
sym. de a = -5 -2 1
```

12.10 Bilan sur les structures

Les structures permettent de regrouper des données hétérogènes pour les communiquer de façon plus concise entre fonctions.

La notion de structure devient beaucoup plus puissante pour manipuler des objets complexes si on lui associe des méthodes de manipulation sous forme de

- fonctions (possible en C)
- opérateurs (impossible en C mais possible en C++)

$\Rightarrow$ **programmation objet**

13 Éléments de compilation séparée

13.1 Introduction

Il est d'usage de **séparer les programmes ≪ longs ≫ en plusieurs fichiers** :

- il est plus facile et rapide de compiler séparément des **entités de programme courtes** que des centaines de lignes de code,
- la séparation en plusieurs fichiers permet de **structurer un programme**
  $\Rightarrow$ fichier = unité cohérente contenant une ou quelques fonctions,
- le découpage en unités cohérentes permet une **ré-utilisation plus facile du code**,
- les différents fichiers peuvent être rassemblés dans des **bibliothèques** (collections de fichiers objets),
- il est possible d'automatiser la compilation séparée à l'aide de l'utilitaire **`make`**.

Le découpage en plusieurs fichiers induit des **contraintes**.

Il faut :

- permettre au compilateur de vérifier la cohérence entre définition/appels des fonctions : assurer la **visibilité des prototypes**,
- **accéder aux nouveaux types définis** (`struct ...`) dans tous les fichiers où ils sont définis,

Dans les 2 cas, une mise en œuvre **robuste** de la compilation séparée réside dans l'utilisation de **fichiers d'entête** (*header files* en anglais).

13.2 Fichiers d'entête (*header files*)

13.2.1 Définition et usage

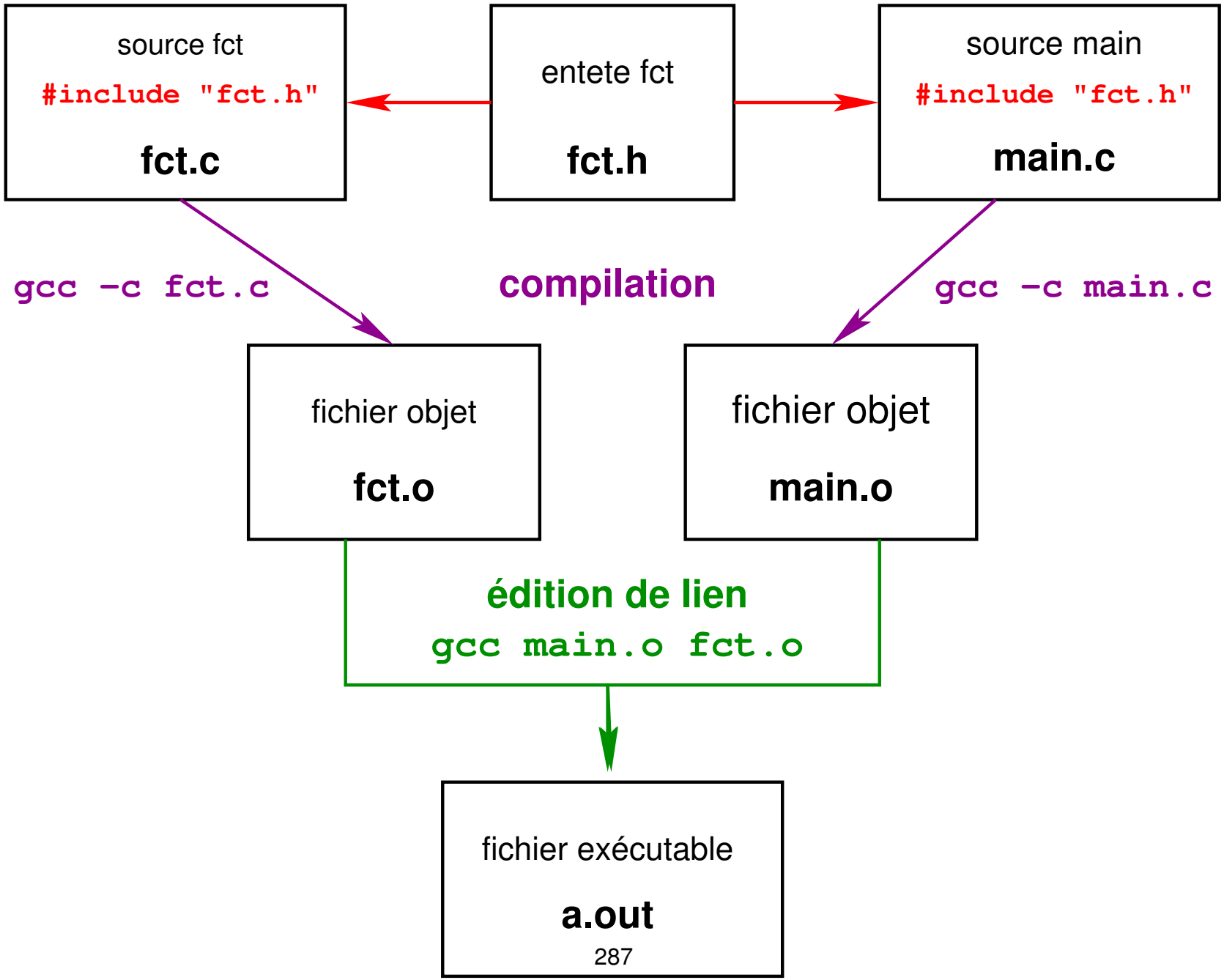
Ces fichiers peuvent contenir des déclarations de fonctions (prototypes) ou de nouveaux types.

Pour les fonctions, ils doivent être inclus dans :

- **le fichier où la fonction est définie**, pour assurer la cohérence déclaration/définition,
- **les fichiers où la fonction est appelée**, pour assurer la cohérence appel/déclaration.

L'inclusion se fait au moyen d'une directive préprocesseur : #`include`.

Pour les fonctions comme pour les types, il faut se protéger contre les **inclusions multiples**.


source fct
#include "fct.h"
fct.c
entete fct
fct.h
source main
#include "fct.h"
main.c
gcc -c fct.c
compilation
gcc -c main.c
fichier objet
fct.o
fichier objet
main.o
édition de lien
gcc main.o fct.o
fichier exécutable
a.out

13.2.2 Structure d'un fichier d'entête

Soit un fichier `fct.c` contenant la définition de plusieurs fonctions. Le fichier `fct.h` correspondant peut s'écrire :

```
#ifndef FCT    // si FCT n'est pas defini...
#define FCT    // ... definir FCT...
double produit(double x, double y);
void affiche(double res);
#endif         // ... fin du if
```

Dans l'exemple ci dessus, ce sont les directives préprocesseur qui protègent contre les **inclusions multiples**.

13.3 Exemple de programme en plusieurs fichiers

```c
/* fichier main.c */
#include <stdio.h>  // prototypes de printf, scanf...
#include <stdlib.h> // prototype de exit...
#include "fct.h"    // prototypes de produit et affiche
int main(void){
  double a, b, prod;
  printf("Entrer deux nombres reels:\n");
  scanf("%lg %lg", &a, &b);
  prod = produit(a,b); // appel de produit
  affiche(prod);       // appel de affiche
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

```c
/* fichier fct.h : declaration des fonctions */
#ifndef FCT
#define FCT
double produit(double x, double y);
void affiche(double res);
#endif /* FCT */
```

```c
/* fichier fct.c : definition des fonctions */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "fct.h"  // declaration de produit et affiche
double produit(double x, double y){
    return x*y;
}
void affiche(double res){
    printf("produit = %g\n", res);
}
```

Compilation :

`gcc-mni-c99 -c main.c fct.c`

⇒ création de 2 fichiers objet : `main.o` et `fct.o`,

Edition de liens :

`gcc-mni-c99 main.o fct.o -o main.x`

⇒ création d'un fichier exécutable `main.x`

Caractéristiques de ce programme : 3 types de fichiers

- le fichier principal `main.c` : appel et déclaration de deux fonctions,
- le fichier `fct.c` : déclaration et définition de deux fonctions,
- le fichier d'entête `fct.h` : déclaration de deux fonctions définies dans `fct.c` et appelées dans `main.c`

13.4 Bibliothèques statiques de fichiers objets

— **Intérêt :** regrouper dans **un seul fichier** toute une collection de **fichiers objets** de fonctions compilées pour simplifier les futures commandes d'édition de lien qui utilisent ces fonctions.

— **Interface :** regrouper les prototypes de toutes les fonctions de la bibliothèque dans un seul fichier (`.h`).

13.4.1 Création et utilisation d'une bibliothèque statique (archive)

Pour créer une bibliothèque de nom **`libtab`** il faut :

1. compiler les fichiers à insérer dans la bibliothèque
   ```
   gcc -c double1d.c double1d_libere.c
   ```
2. insérer les objets dans la bibliothèque (statique) :
   ```
   ar rv libtab.a double1d.o double1d_libere.o
   ```

3. créer un fichier **tab**.h contenant le prototype des fonctions utilisées
   ⇒ #include **"tab**.h**"** dans le code source utilisant la bibliothèque
4. puiser dans la bibliothèque lors de l'édition de lien :
   — en donnant le nom de l'archive pour un premier test :
   (les fichiers sont alors tous dans le répertoire courant)
   gcc main.c **libtab**.**a**
   — ou en précisant le chemin d'accès :
   gcc **-I**/home/user/include **-L**/home/user/lib main.c **-ltab**
   où **tab**.h est dans le répertoire /home/user/include
   l'archive **libtab**.**a** est dans le répertoire /home/user/lib
   et les deux chemins dépendent de l'utilisateur de nom user

Remarque importante : les options **-I** et **-L** ne s'utilisent que pour une bibliothèque **non** standard.

Commande de gestion des bibliothèques statiques : **ar** (cf `tar`)

Actions principales :

r ajout ou **r**emplacement d'une liste de membres

```
ar rv libtab.a double1d.o double1d_libere.o
```

t lis**t**e les membres de la bibliothèque

```
ar tv libtab.a
rw-r--r-- 904/800    860 Jan 29 11:17 2008 double1d.o
rw-r--r-- 904/800    808 Jan 29 11:17 2008 double1d_libere.o
```

x e**x**traction d'une liste de membres

```
ar xv libtab.a double1d.o
```

d **d**estruction d'une liste de membres

```
ar dv libtab.a double1d_libere.o
```

v option (**v**erbose) avec messages d'information

u option (**u**pdate) mise à jour seulement $\Rightarrow$ **ar** `ruv`

13.4.2 Retour sur la bibliothèque standard

La bibliothèque standard est elle-même composée de sous-bibliothèques.

(les fichiers d'archive associés sont dans : `/usr/lib` ou `/lib`, ...)

A chaque sous-bibliothèque est associé un fichier d'entête :

(ces fichiers sont dans : `/usr/include` ou `/include`, ...)

- **`stdio.h`** : prototypes de `scanf`, `printf`, `fopen`, `fclose`, ...
- **`stdlib.h`** : prototype d'`exit`, définition de `EXIT_SUCCESS`, `EXIT_FAILURE`, ...
- **`tgmath.h`** (en C99) : prototype des fonctions mathématiques.
- ...

Dans le code source : le fichier d'entête est entre **`<...>`**

Edition de liens : automatique pour toutes les sous-bibliothèques sauf la sous-bibliothèque mathématique :

il faut utiliser l'option **`-lm`** de `gcc`.

13.4.3 Retour sur la bibliothèque `libmnitab`

Le fichier d'archive associé à cette bibliothèque est : **`libmnitab.a`**

Le prototype des fonctions de cette bibliothèque est dans le fichier **`mnitab`**`.h`

Dans le code source : `#include "mnitab.h"`

A la compilation : sur `sappli` utiliser `gcc+mni` ou `gcc+mni-c99`

$\Rightarrow$ ceci correspond à un alias vers :

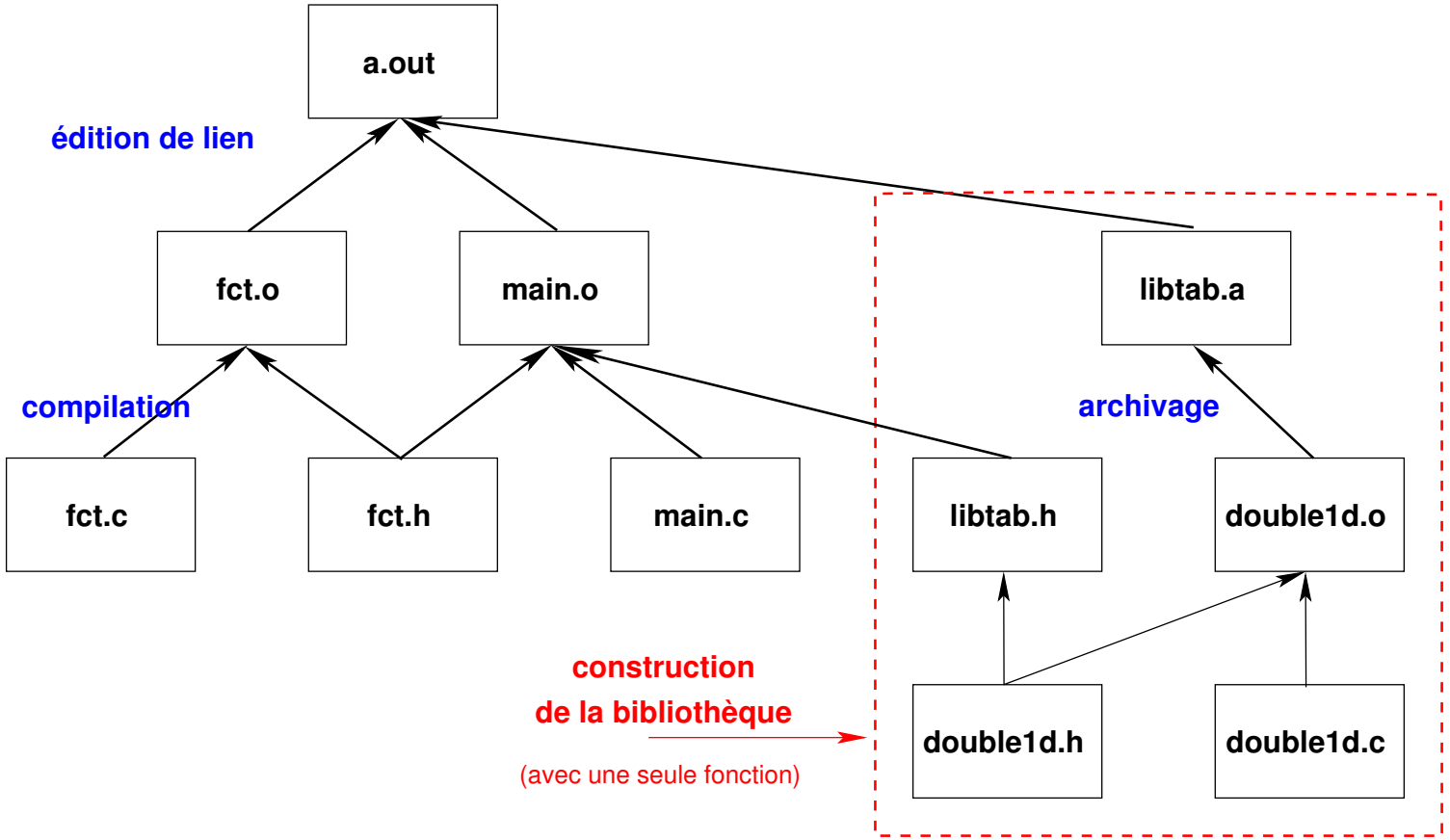
```
gcc -I/home/lefrere/include -L/home/lefrere/lib
```

où le répertoire `/home/lefrere/include` contient **`mnitab`**`.h`

et le répertoire `/home/lefrere/lib` contient **`libmnitab.a`**

Edition de liens : ajouter l'option **`-lmnitab`**

13.4.4 Bilan sur la création et l'usage d'une bibliothèque



Remarque : en général, la création d'une bibliothèque n'a d'intéret que si elle contient de nombreuses fonctions que l'on n'a pas besoin de modifier. Sinon, préférer une compilation en fichiers séparés sans bibliothèque ou l'utilisation de l'utilitaire **`make`**.

13.5 Génération d'un fichier exécutable avec `make`

13.5.1 Principe

La commande **`make`** permet d'**automatiser** la génération d'un fichier exécutable ou **cible** (target) qui **dépend** d'autres fichiers en mettant en œuvre certaines **règles** (rules) de construction décrites dans un fichier **`makefile`**.
`make` minimise les opérations de mise à jour en s'appuyant sur les règles de dépendance et les **dates** de modification des fichiers.

Application la plus classique :
reconstituer automatiquement un programme exécutable à partir des fichiers sources en ne recompilant que ceux qui ont été modifiés.

- **cible** (target) : en général un fichier à produire
- **règle** de production (rule) : liste des commandes à exécuter pour construire une cible (compilation pour les fichiers objets, édition de lien pour l'exécutable)
- **dépendance** : ensemble des fichiers nécessaires à la production d'une cible

13.5.2 Construction d'un `makefile`

Le fichier **`makefile`** liste les cibles, décrit les dépendances et les règles.

Syntaxe des dépendances :

```
cible: liste des dépendances
(tabulation) règle de construction
```

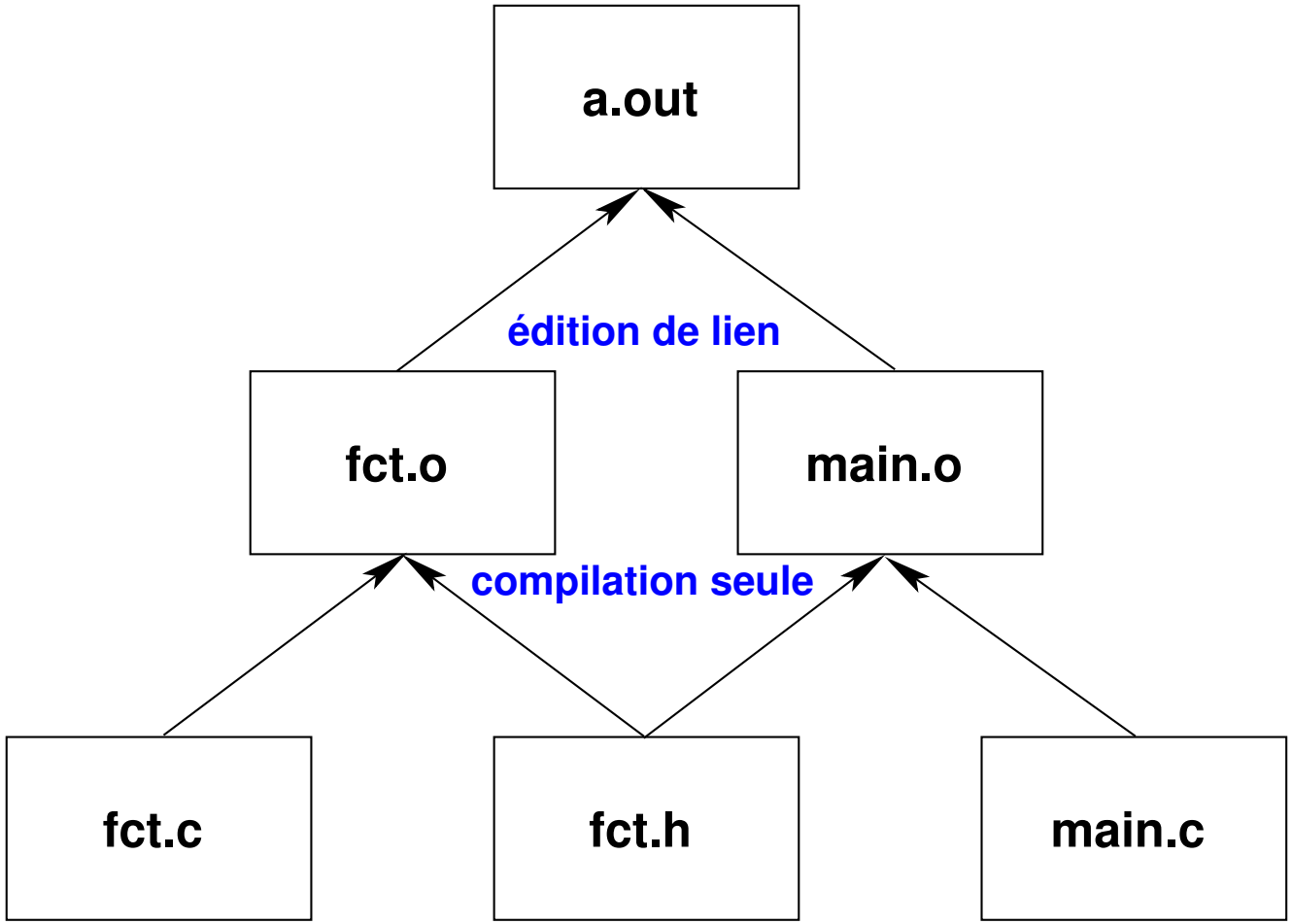
$\Rightarrow$ nécessite d'intégrer des commandes shell dans le **`makefile`**

Le fichier **`makefile`** est construit à partir de l'arbre des dépendances.

`gcc -MM fichier.c` affiche les dépendances de `fichier.o`
(nécessite les `.h`)

13.5.3 Exemple élémentaire de `makefile` en C

Arbre des dépendances (exploré **récursivement** par `make`)



```
## fichier makefile construit a partir de l'arbre des depend

# première cible = exécutable => règle = édition de liens
a.out : fct.o main.o
__TAB__gcc fct.o main.o

# cibles des objets => règle = compilation seule avec gcc -c
fct.o : fct.c fct.h
__TAB__gcc -c fct.c
main.o : main.c fct.h
__TAB__gcc -c main.c

# ménage : suppression des fichiers reconstructibles
clean:
__TAB__/bin/rm -f a.out *.o
```

13.5.4 Utilisation d'un `makefile`

`make` *`cible`*

lance la production de la *`cible`* en exploitant le fichier `makefile` du répertoire courant.

`make -n` *`cible`*

affiche les commandes que devrait lancer `make` pour produire la *`cible`*

Remarque : `cmake` est un utilitaire équivalent à `make` et adapté à un ensemble plus large de systèmes d'exploitation (dont Windows).
Voir : `http://www.cmake.org/`

14 Conclusions

Le langage C est un **langage très complet** :

- à la fois haut niveau et bas niveau,
- applications : du numérique pour les physiciens à l'écriture de systèmes d'exploitation.

Une bonne connaissance du langage C permet d'aborder :

- des langages tels que le **Fortran** (`FormulaTranslator`)
  (passer de Fortran à C peut s'avérer plus compliqué que le contraire)
- des langages comme **PHP** et **java** dont la syntaxe est proche de celle du C,
- des langages orientés objet comme le **C++**,
- l'**interaction** entre langage et système d'exploitation (plus difficile en fortran)
  (commande de processus, acquisition de données, ...)

Annexe A : systèmes de numération

Système décimal

Représentation des nombres en base 10.

Les chiffres de la numération décimale sont les entiers de 0 à 9.

Exemple : $\mathbf{75000}_{(10)} = \mathbf{7} \times 10^4 + \mathbf{5} \times 10^3 + \mathbf{0} \times 10^2 + \mathbf{0} \times 10^1 + \mathbf{0} \times 10^0$

Système binaire

Représentation des nombres en base 2.

Les chiffres de la numération binaire sont le 0 et le 1.

Chaque chiffre correspond à un **bit**.

Exemples :

- $\mathbf{10}_{(2)} = \mathbf{1} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = \mathbf{2}_{(10)}$
- $\mathbf{1010}_{(2)} = \mathbf{1} \times 2^3 + \mathbf{0} \times 2^2 + \mathbf{1} \times 2^1 + \mathbf{0} \times 2^0 = \mathbf{10}_{(10)}$

Passage d'une base b au système décimal

On note $r_{n-1}...r_1 r_{0\ (b)}$, avec $0 \leq r_i < b$ ($i = 0, 1, ..., n-1$), la représentation en base b d'un nombre composé de n chiffres.

La valeur décimale de ce nombre, notée p ou $p_{(10)}$, est alors donnée par :

$$p = \sum_{i=0}^{n-1} r_i \times b^i.$$

Application : $b = 2$, $n = 8$ (ensemble de 8 bits ou octet)

le cas où $r_0 = 0$, $r_1 = 1$, $r_2 = 0$, $r_3 = 1$ et $r_{i>3} = 0$

donne bien $00001010_{(2)} = 10_{(10)}$.

Passage du système décimal à une base b

Décomposer un nombre décimal, noté p ou $p_{(10)}$, en base b :

$$p_{(10)} = \sum_{i=0}^{n-1} r_i \times b^i = r_{n-1}...r_1 r_0 \ _{(b)},$$

consiste à trouver le nombre de bits n et le poids affecté à chaque bit r_i.

Soient, $q_0 = p \div b$ et $q_{i+1} = q_i \div b$ quotient de la division entière de q_i par b.

On a alors :

- $r_i = q_i \% b$, le reste de la division entière de q_i par b.
- $n - 1$, l'indice du premier quotient nul : $q_{n-1} = 0$.

Application : soient $p = 6$ et $b = 2$. On a alors :

- $q_0 = 3, r_0 = 0$,
- $q_1 = 1, r_1 = 1$,
- $q_2 = 0, r_2 = 1 \Rightarrow n = 3$.

Donc : $6_{(10)} = 110_{(2)}$.

Tableau de passage entre système binaire et système décimal

décimal	binaire
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111

décimal	binaire
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111