M2101 - Architecture et programmation bas niveau

Cours n°1 : Introduction au C

Victor Poupet

29 janvier 2018

Généralités

- Langage bas niveau (accès direct aux instructions du système)
- Développé par Dennis Ritchie en 1972 chez Bell Labs
- Langage impératif
- La syntaxe du C a fortement inspiré celle de nombreux langages par la suite (par exemple Java)

Premier programme

```c
#include <stdio.h>

/* la fonction main est appelée
    automatiquement à l'exécution
    du programme */
int main() {
  printf("Hello, world!\n");
  return 0; // valeur de retour
}
```

Quelques remarques :

- sensible à la casse
- caractères blancs ne sont pas significatifs
- commentaires sur une ligne indiqués par `//`, sur plusieurs lignes entre `/*` et `*/`

Instructions

```
int a = 12;
int b = 5;

// bloc d'instructions après if
if (a > 0) {
   a += 1;
   b = a + b;
}
```

- Les instructions se terminent par un point virgule
- On peut grouper plusieurs instructions entre accolades

Compilation

```
$ gcc -Wall code.c -o prog

$ ./prog
Hello, world!

$
```

- Les programmes en C ne sont pas directement exécutables
- Il faut les compiler
- La compilation produit un fichier exécutable (langage machine)
- La compilation s'effectue en plusieurs temps :
  - précompilation (traitement syntaxique)
  - la compilation (génération de code machine)
  - l'édition de liens (production d'un exécutable en combinant les fonctions)

Précompilation

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include fichier.h"

#define PI 3.14159
#define ever ;1;

int main() {
  int n = 1;
  for(ever) {
    if (PI / n < 1) {
      break;
    }
    n++;
  }
}
```

- Inclusion de fichiers (`#include`)
- Replacement de constantes et macros (`#define`)

Précompilation

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "fichier.h"

#define PI 3.14159
#define ever ;1;

int main() {
  int n = 1;
  for(;1;) {
    if (3.14159 / n < 1) {
      break;
    }
    n++;
  }
}
```

- Inclusion de fichiers (`#include`)
- Replacement de constantes et macros (`#define`)

Variables

```
// variable globale
float e = 2.71828;

int f(int a) {
  int b; // variable locale
  b = 2 * a + e;
  return a + b;
}
```

Les variables peuvent être

- *globales* : déclarées hors de toute fonction et partagées pour tout le programme
- *locales* : déclarées dans une fonction, valables uniquement dans cette fonction et ses sous-fonctions

Fonctions

```c
#include <math.h>

float hyp(int, int);

float hyp(int a, int b) {
  float r;
  r = sqrt(a * a + b * b);
  return r;
}
```

Chaque fonction a un *prototype* (ou *signature*) :

- type de retour
- nom
- liste des arguments : type éventuellement suivi du nom

Le prototype sert à définir le cadre d'utilisation de la fonction

Exemple : `stdio.h`

La fonction main

```c
int main() {
  // code principal du programme
  return 0;
}
```

```c
int main(int argc, char *argv[]) {
  // affiche tous les arguments :
  for (int i=0; i<argc; i++) {
    printf("%s\n", argv[i]);
  }
}
```

Tout programme doit comporter une fonction `main` :

- c'est cette fonction qui est exécutée quand le programme est lancé
- la fonction `main` peut faire appel aux autres fonctions
- son type de retour est toujours un entier (code de retour du programme)
- elle peut recevoir des arguments correspondant aux options lors de l'appel :
  - un entier indiquant le nombre d'arguments
  - un tableau contenant des chaînes de caractères (les arguments)

Types de base

```
int a = 12;
unsigned int b;
long int c;
long long int d;
unsigned long long int e;

float x = -2.72;
double y;

char s = 'A';
```

- Chaque variable doit être d'un type défini
- Le type permet au compilateur de déterminer l'espace mémoire occupé par la variable et de décoder correctement sa valeur
- Il existe plusieurs types de données « élémentaires » prédéfinis

Les types de base en mémoire

Les différents types de base n'occupent pas le même espace mémoire.
En général :

- `char` sur un octet (minimum 1)
- `short` sur 2 octets (minimum 2)
- `int` sur 4 octets (minimum 2)
- `long int` sur 8 octets (minimum 4)
- `float` sur 4 octets
- `double` sur 8 octets

Cependant, l'espace occupé par chaque type peut dépendre du système d'exploitation. La norme spécifie des tailles minimum et des relations entre les types (un `long int` doit être au moins aussi long qu'un `int`).
On peut utiliser l'instruction `sizeof` pour obtenir la taille en octets d'une variable

Structures de contrôle

```
int x = 12;

if (x > 0) {
  x--;
} else {
  x++;
}

while (x > 1) {
  x--;
}

for (int i=0; i < 5; i++) {
  x *= 2;
}
```

On peut contrôler le déroulement du programme en fonction des valeurs des variables à l'aide de structures de contrôle :

- `if/else` permet d'exécuter une instruction si une condition est vérifiée ou non
- `while` permet d'exécuter une instruction tant qu'une condition est vraie
- `for` est une syntaxe spéciale qui génère une boucle `while`
- `switch` permet d'exécuter des instructions en fonction de la valeur d'une expression

Structures de contrôle

```
switch (x % 3) {
  case 1:
    x -= 1;
    break;
  case 2:
    x += 1;
    break;
  default:
    x += 3;
    break;
}
```

On peut contrôler le déroulement du programme en fonction des valeurs des variables à l'aide de structures de contrôle :

- `if/else` permet d'exécuter une instruction si une condition est vérifiée ou non
- `while` permet d'exécuter une instruction tant qu'une condition est vraie
- `for` est une syntaxe spéciale qui génère une boucle `while`
- `switch` permet d'exécuter des instructions en fonction de la valeur d'une expression

Un exemple

→ Programme de calcul de racine d'un polynôme de degré 2

Conversion de type

```c
char c = 'A'; // 'A' = 65
int a = 3;
int b = -1;
unsigned int u;
float x, y;

x = a / b;
y = (float) a / b;
// x = 1, y = 1.5

a = (int) 3.9;
u = (unsigned short) b;
b = a + c;
// a = 3, u = 65535, b = 68
```

Dans certains cas, il est possible de convertir une variable d'un type en un autre (*cast*) :

- la plupart des types de base sont interconvertibles car ils représentent tous des nombres
- pour demander la conversion explicite en un type, on préfixe la variable du type entre parenthèse
- certaines conversions sont faites implicitement lors d'opérations entre deux types différents
- la conversion d'un `float` en `int` élimine la partie fractionnaire (arrondi inférieur en positif, et supérieur en négatif)

Tableaux

```c
/* déclarations */
int tab[10];
// le programme réserve 40 octets
long int tab2[10];
// le programme réserve 80 octets
char s[20];
// le programme réserve 20 octets

/* utilisation */
tab[0] = 0;
tab[1] = 1;
for (int i=2; i<10; i++) {
  tab[i] = tab[i-1] + tab[i-2];
}

// initialisation à la création
int t[4] = {1, 2, 3, 4};
```

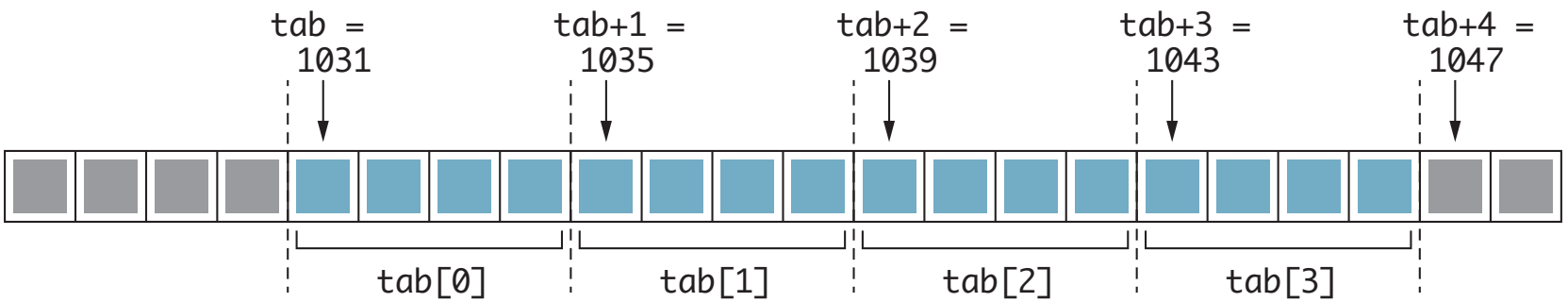
- Un tableau contient toutes les valeurs à la suite en mémoire
- L'espace mémoire d'un tableau est donc égal à la taille d'un élément multiplié par le nombre d'éléments
- La variable correspondant au tableau ne contient pas véritablement toutes les valeurs, mais simplement l'adresse mémoire où se trouve la première case du tableau
- Pour trouver la valeur en position i dans le tableau, il faut aller à l'adresse de la première case, et se déplacer de i fois la taille d'un élément

Tableaux

Suite à l'instruction

```
int tab[4];
```

- Le programme réserve 16 octets (4 par entier) pour le tableau
- La variable `tab` contient l'adresse de la première case
- La valeur qui se trouve à l'adresse `tab` est un `int`
- La valeur qui se trouve à l'adresse `(tab+1)` est un `int`
- Rien ne marque la fin du tableau, mais le contenu des cases à l'extérieur est indéterminé (et peut être interdit d'accès au programme courant)



Pointeurs

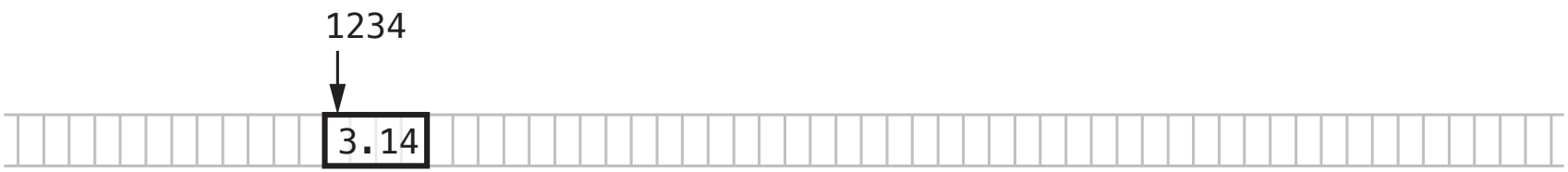
```
int a, b, *p;

a = 10;
p = &a;

// *p vaut 10

b = *p;
a++;

// a = 11, *p = 11, b = 10
```

- Un pointeur est une variable qui contient l'adresse mémoire d'un objet (et qui connaît le type de l'objet pointé)
- La notation `*p` désigne la valeur qui se trouve à l'adresse `p`
- La notation `&a` désigne l'adresse à laquelle est stockée la variable `a`
- Dès que l'on manipule des objets plus complexes que les types de base, les variables contiennent des pointeurs vers les objets et non pas les objets eux-mêmes

Pointeurs

```
float a = 3.14;
```

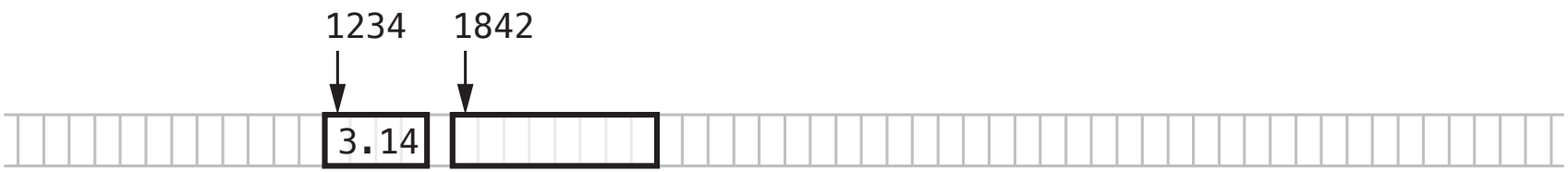
```
(float) a : 1234
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
```

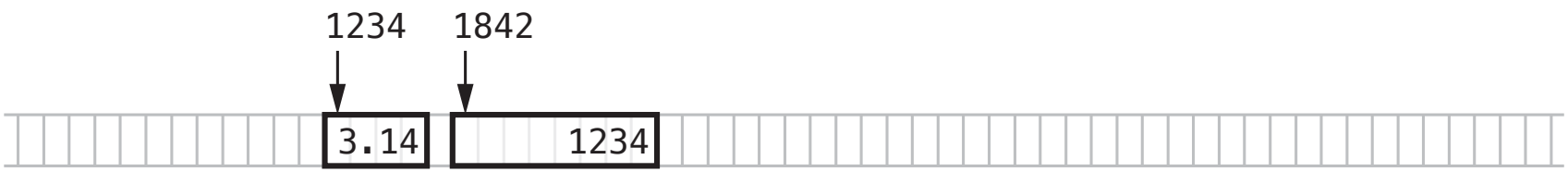
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
```

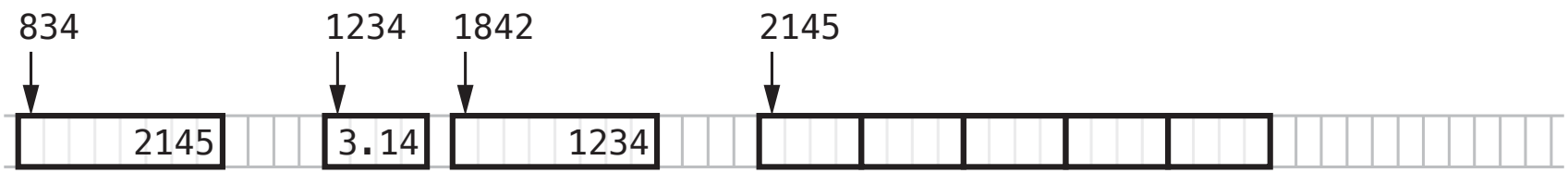
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
int tab[5];
```

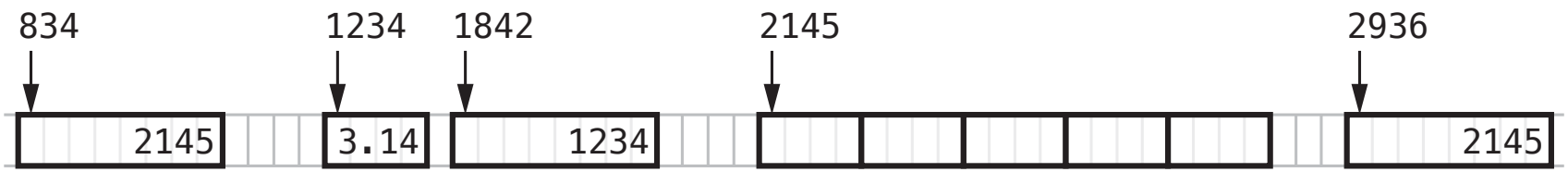
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
(int*) tab : 834
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
int tab[5];
int *t = tab;
```

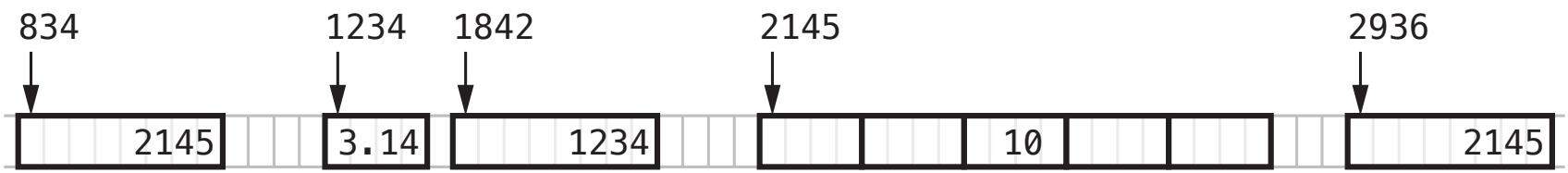
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
(int*) tab : 834
(int*) t : 2936
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
int tab[5];
int *t = tab;
tab[2] = 10;
```

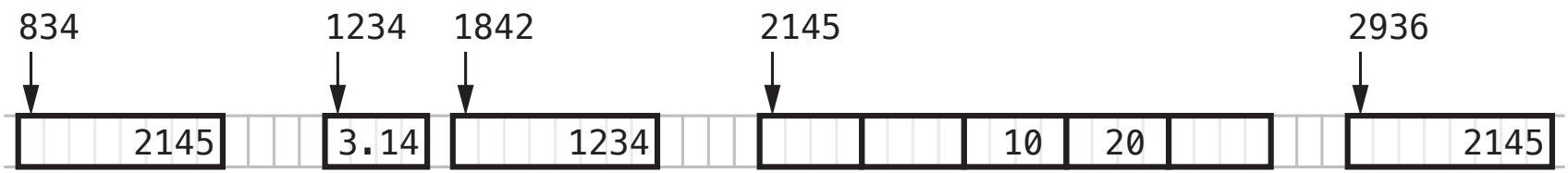
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
(int*) tab : 834
(int*) t : 2936
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
int tab[5];
int *t = tab;
tab[2] = 10;
*(t+3) = 20;
```

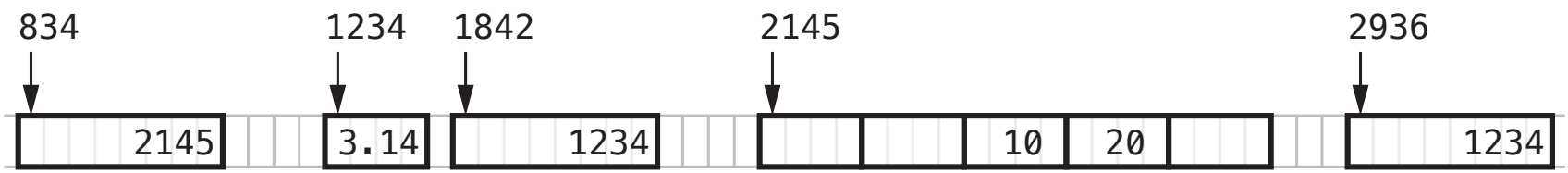
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
(int*) tab : 834
(int*) t : 2936
```



Pointeurs

```
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
int tab[5];
int *t = tab;
tab[2] = 10;
*(t+3) = 20;
t = p;
```

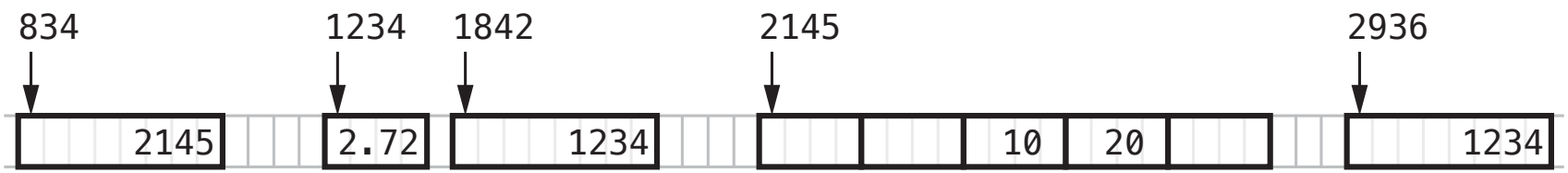
```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
(int*) tab : 834
(int*) t : 2936
```



Pointeurs

```c
float a = 3.14;
float *p;
p = &a;
int tab[5];
int *t = tab;
tab[2] = 10;
*(t+3) = 20;
t = p;
*p = 2.72;
```

```
(float) a : 1234
(float*) p : 1842
(int*) tab : 834
(int*) t : 2936
```



Valeur ou référence

```
int a, b;
a = 1;
b = a;

a = 2; // a = ?, b = ?

int u[3] = {0, 10, 20};
int *v;
v = u;
u[1]++;
v++;

char *n, *m;
n = "abc";
m = n;
n = "def";
```

- Lorsqu'on copie une variable contenant une valeur de type simple (**`int`**, **`char`**, **`float`**, *etc.*), la valeur est copiée et les deux variables sont indépendantes
- Si deux pointeurs sont égaux, toute modification du contenu de l'un modifie également le contenu de l'autre

Valeur ou référence

```
int a, b;
a = 1;
b = a;

a = 2; // a = 2, b = 1

int u[3] = {0, 10, 20};
int *v;
v = u;
u[1]++; // u[1] = ? , v[1] = ?
v++;

char *n, *m;
n = "abc";
m = n;
n = "def";
```

- Lorsqu'on copie une variable contenant une valeur de type simple (**`int`**, **`char`**, **`float`**, *etc.*), la valeur est copiée et les deux variables sont indépendantes
- Si deux pointeurs sont égaux, toute modification du contenu de l'un modifie également le contenu de l'autre

Valeur ou référence

```
int a, b;
a = 1;
b = a;

a = 2; // a = 2, b = 1

int u[3] = {0, 10, 20};
int *v;
v = u;
u[1]++; // u[1] = 11, v[1] = 11
v++; // u[1] = ? , v[1] = ?

char *n, *m;
n = "abc";
m = n;
n = "def";
```

- Lorsqu'on copie une variable contenant une valeur de type simple (**`int`**, **`char`**, **`float`**, *etc.*), la valeur est copiée et les deux variables sont indépendantes
- Si deux pointeurs sont égaux, toute modification du contenu de l'un modifie également le contenu de l'autre

Valeur ou référence

```
int a, b;
a = 1;
b = a;

a = 2; // a = 2, b = 1

int u[3] = {0, 10, 20};
int *v;
v = u;
u[1]++; // u[1] = 11, v[1] = 11
v++; // u[1] = 11, v[1] = 20

char *n, *m;
n = "abc";
m = n;
n = "def"; // n = ?    , m = ?
```

- Lorsqu'on copie une variable contenant une valeur de type simple (**`int`**, **`char`**, **`float`**, *etc.*), la valeur est copiée et les deux variables sont indépendantes
- Si deux pointeurs sont égaux, toute modification du contenu de l'un modifie également le contenu de l'autre

Valeur ou référence

```c
int a, b;
a = 1;
b = a;

a = 2; // a = 2, b = 1

int u[3] = {0, 10, 20};
int *v;
v = u;
u[1]++; // u[1] = 11, v[1] = 11
v++; // u[1] = 11, v[1] = 20

char *n, *m;
n = "abc";
m = n;
n = "def"; // n = "abc", m = "def"
```

- Lorsqu'on copie une variable contenant une valeur de type simple (**`int`**, **`char`**, **`float`**, *etc.*), la valeur est copiée et les deux variables sont indépendantes
- Si deux pointeurs sont égaux, toute modification du contenu de l'un modifie également le contenu de l'autre

Pointeurs comme arguments

```c
void f(int n) {
  n++;
}

void g(int *p) {
  (*p)++;
}

int main() {
  int n = 10;
  f(n); // n = 10
  g(&n); // n = 11
}
```

- Si l'on passe un entier (ou un autre type simple) à une fonction, c'est une copie de la valeur qui est transmise
- Si on doit modifier la valeur de cet entier, il faut passer un pointeur vers la valeur
- Plusieurs fonctions en C prennent un argument qui est un pointeur vers un emplacement où écrire le résultat de leur exécution (ex : `scanf`)

Tableaux et pointeurs

Les opérations sur les tableaux reviennent à manipuler des pointeurs :

- la déclaration `int t[];` est équivalente à `int *t;` (dans ce cas la taille du tableau n'est pas définie et l'espace n'est pas réservé en mémoire)
- pour accéder à une case du tableau, `t[5]` est équivalent à `*(t+5)`

Chaînes de caractères

```c
int longueur (char *s) {
  int i = 0;
  while (s[i] != '\0') {
    i++;
  }
  return i;
}

int main() {
  char *s = "Youpi";
  int l = longueur(s); // l = 5
  char nom[4];
  nom[0] = 'B';
  nom[1] = 'o';
  nom[2] = 'b';
  nom[3] = '\0';
  l = longueur(nom); // l = 3
}
```

- Les chaînes de caractères sont des tableaux de caractères, dont la dernière case contient `'\0'`
- En général il n'est donc pas nécessaire de mémoriser la longueur d'une chaîne de caractères
- Lorsque l'on réserve l'espace mémoire manuellement, il faut faire attention à prendre une case de plus pour le caractère `'\0'`

Structures

```c
// définition du type
struct Voiture {
  int nb_portes;
  char *marque;
};

// initialisation
struct Voiture v1;
caisse.marque = "Peugeot";
caisse.nb_portes = 5;

struct Voiture v2 = {
  .nb_portes = 3,
  .marque = "Volvo",
};

struct Voiture v3 = {2, "Fiat"};
```

- Les structures sont des objets en C contenant plusieurs champs
- La définition d'une structure donne un type et un nom à chaque champ
- On accède aux champs à l'aide de la notation pointée
- Les valeurs des champs d'une structure sont stockés à la suite en mémoire
- La taille occupée en mémoire par une structure est égale à la somme des tailles des différents champs
- On peut utiliser `sizeof` pour trouver la taille