Introduction à la Programmation

Benoit Donnet

Année Académique 2022 - 2023

Agenda

Agenda

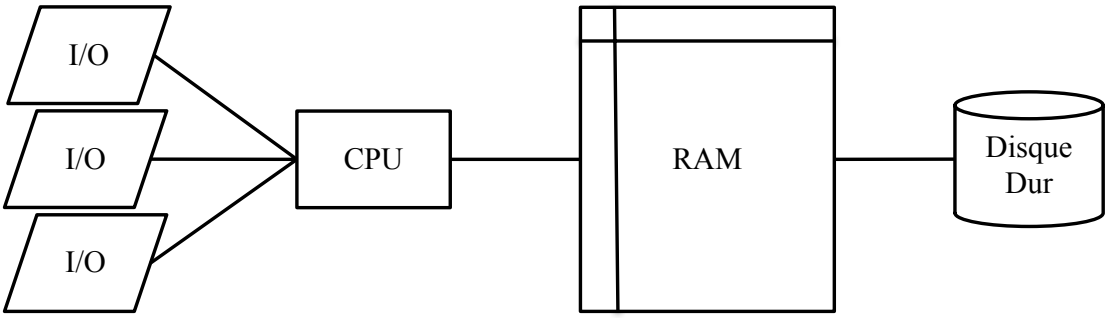
- Chapitre 7: Pointeurs
  - Introduction
  - Passage de Paramètres
  - Pointeurs et Enregistrements
  - Pointeurs et Tableaux

Agenda

- Chapitre 7: Pointeurs
  - Introduction
    - ✓ Mémoire Centrale
    - ✓ Opérations sur les Pointeurs
  - Passage de Paramètres
  - Pointeurs et Enregistrements
  - Pointeurs et Tableaux

Mémoire Centrale

- Architecture classique d'un ordinateur
  - l'ordinateur est composé d'un CPU, d'appareils d'ES, d'une mémoire rapide et volatile (RAM) et d'une mémoire à long terme (HD)

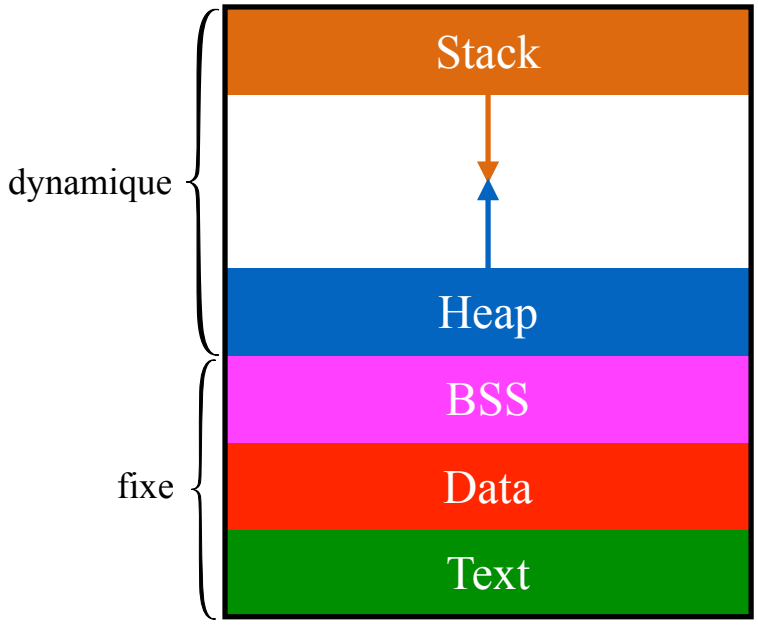


Mémoire Centrale (2)

- Les programmes sont stockés sur le disque dur
- Quand on exécute un programme
  - le système d'exploitation le charge en mémoire RAM
  - le programme devient un **processus**
- A chaque processus est associée une zone mémoire composée de *5 parties distinctes*, chacune ayant un rôle bien défini

Mémoire Centrale (3)

- Schéma (simplifié) de la mémoire d'un processus



trace des appels des modules et leurs arguments (Slides 17 → 31)

éléments créés dynamiquement (cfr. Chapitre 8)

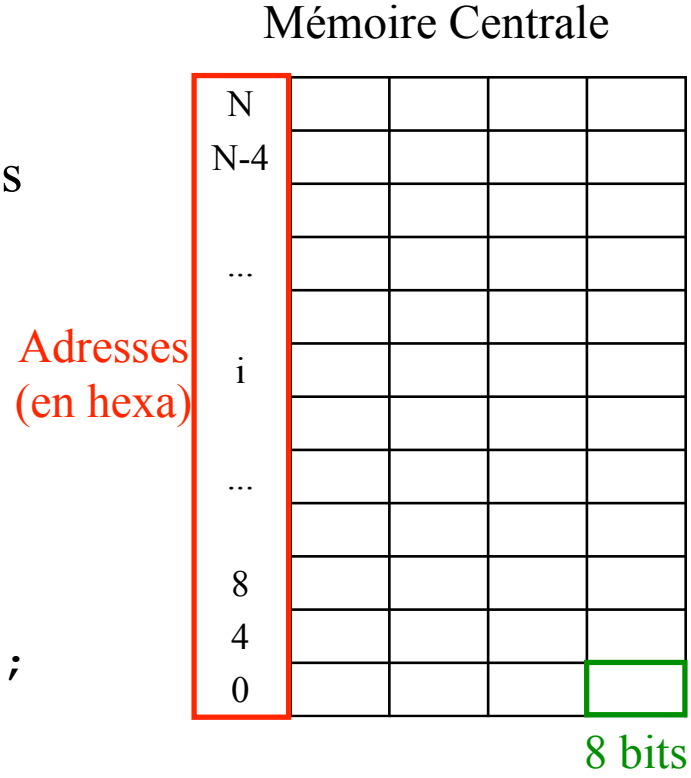
variables statiques et globales non-initialisées

variables statiques et globales initialisées dans le code

code binaire du programme

Mémoire Centrale (4)

- Chaque variable dans la mémoire occupe des octets continus
  - exemple: un `float` occupe 4 octets qui se suivent
- L'opérateur `&` permet de connaître l'adresse d'une variable
  - exemple: `int x; &x;`



Opérations Pointeurs

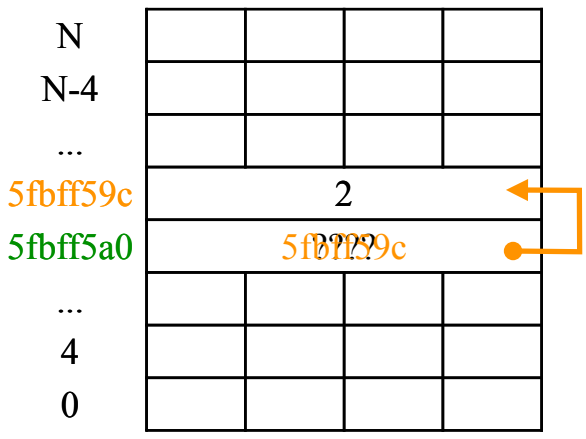
- Il est possible de mémoriser, dans un emplacement mémoire, l'adresse d'une variable
- **Pointeur**
  - variable dont la valeur est une adresse
- Si `T` est un type quelconque
  - `T*` désigne le type d'un pointeur vers une variable de type `T`
  - `void*` désigne un pointeur vers des variables de n'importe quel type
- On a déjà rencontré des pointeurs dans le cours (cfr. Chapitre 1 et 5)
  - `FILE* fp`

Opérations Pointeurs (2)

- Exemple

```
#include <stdio.h>

int main(){
  int x = 2;
  int *p;

  p = &x;

  printf("%x\n", p);
  printf("%d\n", x);
  printf("%d\n", *p);

  return 0;
}//fin programme
```

Mémoire Centrale

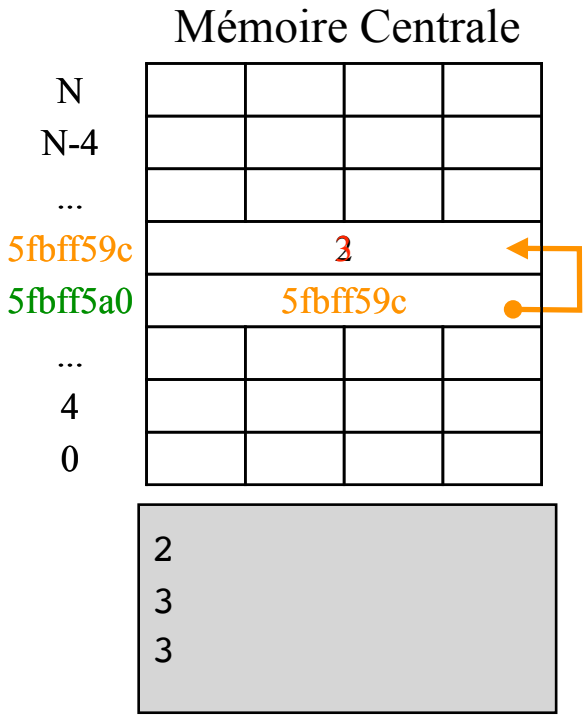



```
5fbff59c
2
2
```

Opérations Pointeurs (3)

- On accède à la donnée pointée par un pointeur via l'étoile

```
#include <stdio.h>

int main(){
  int x = 2;
  int *p = &x;

  printf("%d\n", x);
  *p = 3;

  printf("%d\n", *p);
  printf("%d\n", x);

  return 0;
}//fin programme
```



Opérations Pointeurs (4)

- Les pointeurs peuvent
  - subir des affectations par le biais de l'opérateur =
  - être comparés à l'aide de l'opérateur ==
    - ✓ `int *p; int *q`
      - ✦ `p==q`
      - ✦ `*p==*q`
- Il existe un pointeur spécial défini dans `stdlib.h`
  - `NULL`
  - représente le pointeur vide
    - ✓ il ne pointe sur rien
    - ✓ utile pour récupérer certains cas particuliers

Opérations Pointeurs (5)

- Un peu de vocabulaire
  - **référencement**
    - ✓ obtenir l'adresse d'une variable
    - ✓ opérateur: &
  - **déréférencement**
    - ✓ obtenir la valeur vers laquelle on pointe
    - ✓ opérateur: *

```
int v = 10;
int *ptr = &v;

*ptr = 20;
```

pointent sur la même zone mémoire

v vaut 20

Opérations Pointeurs (6)

- Attention
  - l'opérateur d'incrémentation a priorité sur celui de déréférencement

```
int i;
int *entier;

//du code
```

```
i = *++entier;
```

incrémente d'abord le pointeur
déréférence la nouvelle adresse pointée

```
i = ++*entier;
```

incrémente la valeur pointée
affecte le résultat à i

```
i = (*entier)++;
```

affecte la valeur pointée par entier à i
incrémente cette valeur

Opérations Pointeurs (7)

programme	a	b	c	p1, *p1	p2, *p2
`int a, b, c, *p1, *p2;`	∅	∅	∅	∅	∅
`a = 1, b = 2, c = 3;`					
`p1 = &a, p2 = &c;`					
`*p1 = (*p2)++;`					
`p1 = p2;`					
`p2 = &b;`					
`*p1 -= *p2;`					
`++*p2;`					
`*p1 *= *p2;`					
`a = ++*p2 * *p1;`					
`p1 = &a;`					
`*p2 = *p1 /= *p2;`					

Opérations Pointeurs (8)

- En résumé
  - lorsque `p` pointe sur `x`
    - ✓ la valeur de `p` est l'adresse de `x` en mémoire
    - ✓ toute modification de `*p` modifie `x`
    - ✓ toute modification de `x` modifie `*p`
  - raison?
    - ✓ `*p` et `x` sont sur le même emplacement mémoire dans la mémoire centrale

Agenda

- Chapitre 7: Pointeurs
  - Introduction
  - Passage de Paramètres
    - ✓ Principe
    - ✓ Passage par Valeur
    - ✓ Passage par Adresse
    - ✓ Paramètres d'un Programme
    - ✓ Application
  - Pointeurs et Enregistrements
  - Pointeurs et Tableaux

Principe

- Rappels
  - *paramètre(s) formel(s)*
    - ✓ argument(s) d'un module défini(s) lors de la déclaration du module
    - ✓ un paramètre possède un type et un identificateur
    - ✓ exemples
      - `void affiche_tableau(int tab[], int n);`
      - `int factorielle(int n);`
  - *paramètre(s) effectif(s)*
    - ✓ expression(s) passée(s) à un module lors de l'invocation
    - ✓ exemples
      - `affiche_tableau(t, 10);`
      - `printf("%d\n", factorielle(6));`

Principe (2)

- **Passage de paramètres**
  - mécanisme permettant de faire le lien entre le(s) paramètre(s) effectif(s) et le(s) paramètre(s) formel(s) lors de l'invocation d'un module
- Ce lien se fait en créant sur la pile un espace mémoire particulier
  - **frame**
  - **contexte**
- A chaque invocation de module correspond un contexte
  - le contexte est détruit à la fin de l'exécution du module

Principe (3)

- Un contexte contient (entre autres)
  - des espaces mémoires pour les (éventuels) paramètres formels du module
    - ✓ dans l'ordre inverse
  - des espaces mémoires pour les (éventuelles) variables locales du module
  - l'adresse de retour
    - ✓ pour que le code appelant puisse reprendre la main à la fin de l'exécution du module
- La fonction `int main()` dispose d'un contexte
  - c'est le 1er contexte créé sur la pile

Principe (4)

- En C, il existe deux modes de passage de paramètres
  - par **valeur**
    - ✓ la valeur du paramètre effectif est recopiée sur la pile, dans le contexte associé à l'invocation
    - ✓ le module travaille sur une copie locale du paramètre effectif
      - ✓ le paramètre formel contient la copie locale
    - ✓ à la fin de l'exécution du module toute modification du paramètre formel est perdue car
      - ✓ le contexte est détruit
      - ✓ le module travaillait sur une copie locale
  - par **adresse**
    - ✓ on copie sur la pile l'adresse du paramètre effectif, dans le contexte associé à l'invocation
    - ✓ le paramètre formel contient donc l'adresse du paramètre effectif
    - ✓ à la fin de l'exécution du module, toute modification du paramètre formel est conservée par le code appelant

Passage par Valeur

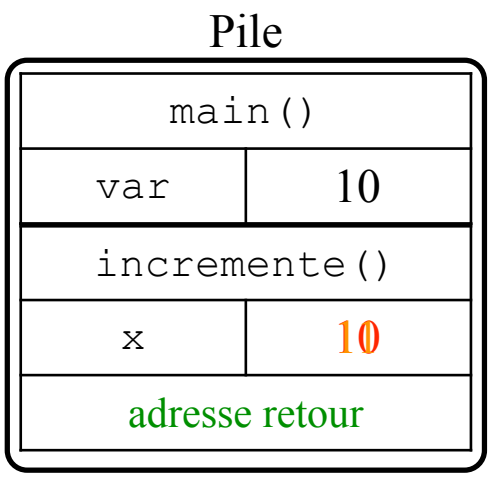
```
#include <stdio.h>

float calcul(float a, float b){
  float res;
  res = -b/a;
  return res;
}//fin calcul()

int main(){
  float coef1 = 0.5;
  float coef2 = 128.2;
  float sol;
  sol = calcul(coef1, coef2);

  printf("%f\n", sol);

  return 0;
}//fin programme
```

Pile

main()	
coef1	0.5
coef2	128.2
sol	-256.39
calcul()	
b	128.2
a	0.5
res	-256.39
adresse retour	

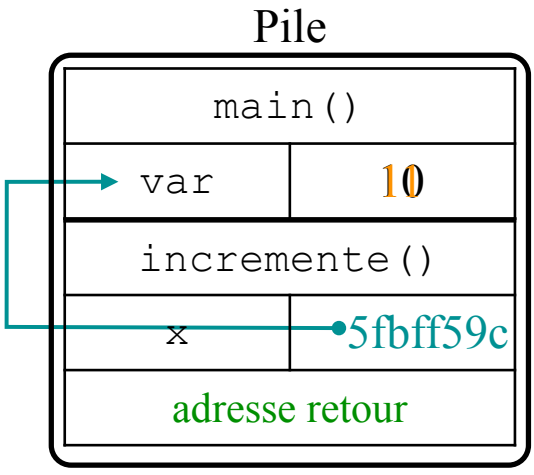
Passage par Valeur (2)

```c
#include <stdio.h>

void incremente(int x){
  x++;
}//fin incremente()

int main(){
  int var = 10;

  printf("%d\n", var);
  incremente(var);
  printf("%d\n", var);

  return 0;
}//fin programme
```



Passage par Adresse

```c
#include <stdio.h>

void incremente(int *x){
  (*x)++;
}//fin incremente()

int main(){
  int var = 10;

  printf("%d\n", var);
  incremente(&var);
  printf("%d\n", var);

  return 0;
}//fin programme
```



Paramètres d'un Prog.

- La fonction `main()`
  - peut prendre des arguments
  - intérêt?
    - ✓ passer des paramètres en ligne de commande au programme
- Les arguments
  - `int argc`
    - ✓ nombre d'arguments de la ligne de commande
  - `char** argv`
    - ✓ tableau de pointeurs contenant la liste des arguments
    - ✓ chaque pointeur pointe sur une chaîne de caractères se terminant par '`\0`'
    - ✓ `argv[0]` donne le nom du programme

Paramètres d'un Prog. (2)

- Exemple

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char** argv){
  int i;
  printf("nom du programme: %s\n", argv[0]);

  for(i=1; i<argc; i++)
    printf("argument %d : %s\n", i, argv[i]);

  return 0;
}//fin programme
```

```
$ ./test 1 2 3 4 5 6
nom du programme: test
argument 1 : 1
argument 2 : 2
argument 3 : 3
argument 4 : 4
argument 5 : 5
argument 6 : 6
```

Application

- Les pointeurs, en paramètre d'un module, permettent (dans un sens) de renvoyer plusieurs résultats en une fois.
- Exemple: fonction qui renvoie le minimum et le maximum de deux nombres
  - fichier `minmax.h`

```
/*
 * @pre: min!=NULL, max!=NULL;
 * @post: *min = MINIMUM{a, b}, *max = MAXIMUM{a, b}
 */
void minmax(int a, int b, int *min, int *max);
```

passage par valeur passage par adresse

Application (2)

- Fichier `minmax.c`

```
#include <assert.h>
#include <stdlib.h>
#include "minmax.h"

void minmax(int a, int b, int *min, int *max){
  assert(min!=NULL && max!=NULL);

  if(a<b){
    *min = a;
    *max = b;
  }else{
    *min = b;
    *max = a;
  }
}//fin minmax()
```

Application (3)

- Fichier `main-minmax.c`

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

int main(int argc, char** argv){
  if(argc!=3){
    printf("Usage: ./main a b\n");
    return -1;
  }

  int min, max;

  minmax(atoi(argv[1]), atoi(argv[2]), &min, &max);

  printf("le minimum est %d\n", min);
  printf("le maximum est %d\n", max);

  return 0;
}//fin programme()
```

transforme un `char` en `int`

`int atoi(char*)`

Application (4)

- Quel est le résultat de ce code?

```c
#include<stdio.h>

void affiche(int a, int b){
  printf("%d, %d\n", a, b);
}

void incr1(int x){ x = x + 1; }

void incr2(int* x){ *x = *x + 1; }

void decr1(int* x){ x = x - 1; }

void decr2(int* x){ *x = *x - 1; }
```

```c
int main(){
  int i = 1;
  int j = 1;
  affiche(i, j);
  incr2(&i);
  affiche(i, j);
  decr1(&j);
  affiche(i, j);
  decr2(&j);
  affiche(i, j);
  while(i != j){
      incr1(j);
      decr2(&i);
    }
  affiche(i, j);
}//fin programme
```

Exercices

- Ecrire une fonction qui initialise deux entiers et un réel à -5
  - écrire le programme qui appelle cette fonction et affiche les variables avant et après l'initialisation
- Ecrire une fonction qui retourne le quotient et le reste de la division d'un entier *p* par un entier *q*
  - Ecrire le programme qui appelle cette fonction et affiche le résultat à l'écran
- Ecrire une fonction qui échange le contenu de 2 entiers
  - écrire le programme qui appelle cette fonction et qui affiche les valeurs des variables avant et après l'appel

Agenda

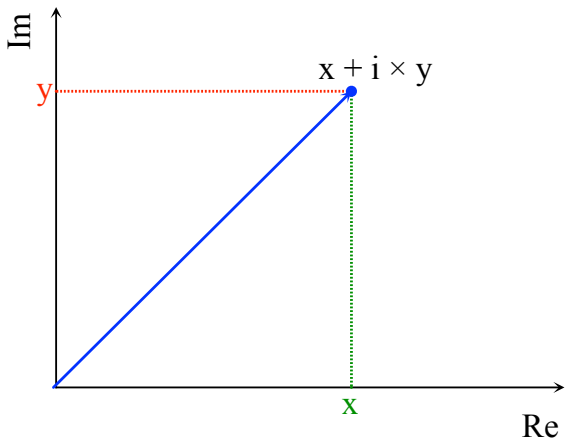
- Chapitre 7: Pointeurs
  - Introduction
  - Passage de Paramètres
  - Pointeurs et Enregistrements
    - ✓ Principe
    - ✓ Exemple
  - Pointeurs et Tableaux

Principe

- En C, il est très fréquent de manipuler des données structurées via des pointeurs
- Si `p` est un pointeur vers une structure possédant un champ `c`, alors la notation
  - `p->c`
  - est un synonyme pour `(*p).c`
    - ✓ on utilise jamais cette notation (peu claire)
  - on accède donc au champ `c` de la donnée pointée par `p`

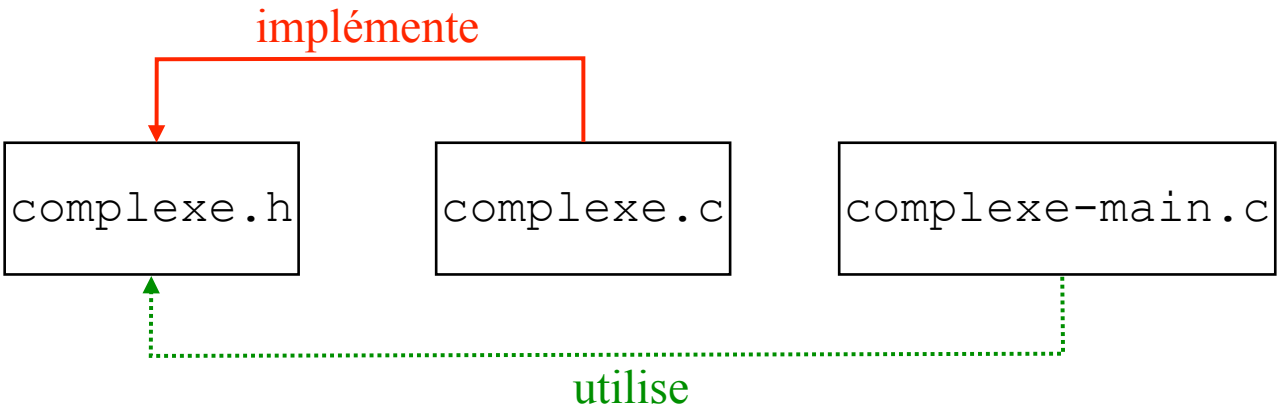
Exemple

- Les nombres complexes
  - représentation cartésienne: $z = x + i \times y$
    - ✓ x: partie réelle
    - ✓ y: partie imaginaire



Exemple (2)

- Architecture du code



Exemple (3)

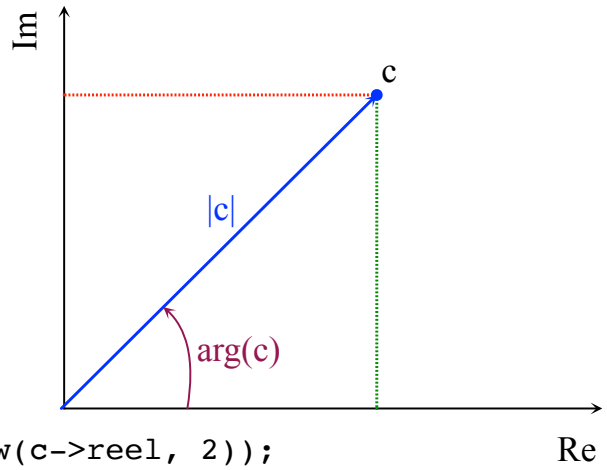
- Fichier `complexe.h`

```
typedef struct{
  double reel; //partie réelle
  double imag; //partie imaginaire
}Complexe;

/*
 * @pre: c est valide
 * @post: phase vaut la phase du complexe
 */
double phase(Complexe *c);

/*
 * @pre: c est valide
 * @post: module vaut le module du complexe
 */
double module(Complexe *c);
```

Exemple (4)

- Fichier `complexe.c`

```c
#include <math.h>

#include "complexe.h"

double phase(Complexe *c){
  return atan(c->imag/c->reel);
}//fin phase()


double module(Complexe *c){
  return sqrt(pow(c->imag, 2)+pow(c->reel, 2));
}//fin module()
```



Exemple (3)

- Fichier `complexe-main.c`

```c
#include <stdio.h>

#include "complexe.h"

int main(){
  Complexe c1 = {2.0, 3.0};
  Complexe c2 = {4.6, -2.0};

  printf("phase c1: %lf\n", phase(&c1));
  printf("module c2: %lf\n", module(&c2));

  return 0;
}//fin programme
```

Exercice

- Soit une structure `Point` contenant deux champs `x` et `y` de type float
  - écrire une fonction qui échange deux structures `Point` passées par adresse
  - écrire le programme qui
    - ✓ saisit deux structures `Point` dans des variables
    - ✓ échange le contenu de ces variables en appelant la fonction
    - ✓ affiche le nouveau contenu des variables

Agenda

- Chapitre 7: Pointeurs
  - Introduction
  - Passage de Paramètres
  - Pointeurs et Enregistrements
  - Pointeurs et Tableaux
    - ✓ Principe
    - ✓ Exemples
    - ✓ Arithmétique des Pointeurs

Principe

- Dans le Chap. 5, nous avons vu la notion de tableau
- Si `v` est un tableau d'entiers
  - `v[0]` renvoie le 1er élément du tableau
  - `v[i]` renvoie le i+1ème élément du tableau
- En fait, on peut reformuler comme suit
  - `v[0]` pointe vers le 1er élément du tableau
  - `v[i]` pointe vers le i+1ème élément du tableau

Principe (2)

- On peut en déduire que
  - les expressions `v` et `&v[0]` sont équivalentes
  - `v+i` et `&v[i]` sont équivalentes
    - ✓ *arithmétique des pointeurs*
  - `v[i]` et `*(v+i)` sont équivalentes

Principe (3)

- Exemple
  - soit, `t`, un tableau d'entiers, de taille 10
  - placer la valeur 1 dans les 10 cases du tableau

```
int t[10];

int i;
for(i=0; i<10; i++)
  t[i] = 1;
```

```
int t[10];

int i;
for(i=0; i<10; i++)
  *(t+i) = 1;
```


Principe (4)

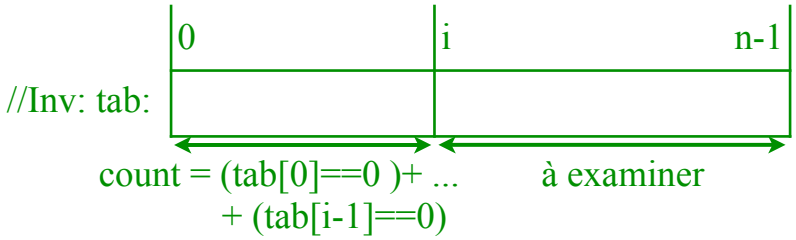
- Lorsqu'un tableau est passé en paramètre d'un module
  - il est converti automatiquement en son adresse
    - ✓ pour être précis, l'adresse de son premier élément
  - un tableau n'est donc jamais recopié
    - ✓ raison?
      - ✦ rapidité
      - ✦ mémoire
- Les prototypes suivants sont identiques

```
void init_tab(int *ptr, int n);
void init_tab(int ptr[], int n);
```

Exemples

- Exemple 1
  - écrire une fonction qui retourne le nombre de zéros d'un tableau `tab` de taille `n`

```
/*
 * @pre: tab est un tableau valide, n ≥ 0
 * @post: compte_zero vaut le nombre de zéro dans tab
 */
int compte_zero(int *tab, int n){
  int i, count=0;

  for(i=0; i<n; i++)
    if(tab[i]==0)
      count++;

  return count;
}//fin compte_zero()
```



Exemples (2)

- Exemple 2
  - fonction qui retourne la longueur d'une chaîne de caractères `s`

```
unsigned strlen(char *s){
  unsigned l = 0;

  while(*s++)
    l++;

  return l;
}//fin strlen()
```

fonction similaire définie dans string.h

l'opérateur ++ est prioritaire sur l'opérateur *

Arithmétique Pointeurs

- Arithmétique des pointeurs

```
int a[10];
int *p;

p = a;
p++;

n = 3;

p += n;
p = a+9;
p = a+11;
```

p pointe sur a[0] (&a[0])
p pointe sur a[1] (&a[1])

p pointe sur a[1+n] (&a[1+n])

p pointe le dernier élément du tableau
p sort des limites du tableau

Arithmétique Pointeurs (2)

- Exemple

```
int A[] = {12, 23, 34, 45, 56, 67, 78, 89, 90};
int *P;
P = A;
```

```
int i = *P+2;
printf("%d\n", i);

i = *(P+2);
printf("%d\n", i);

i = &P+1;
printf("%d\n", i);

i = &A[4]-3;
printf("%d\n", i);
```

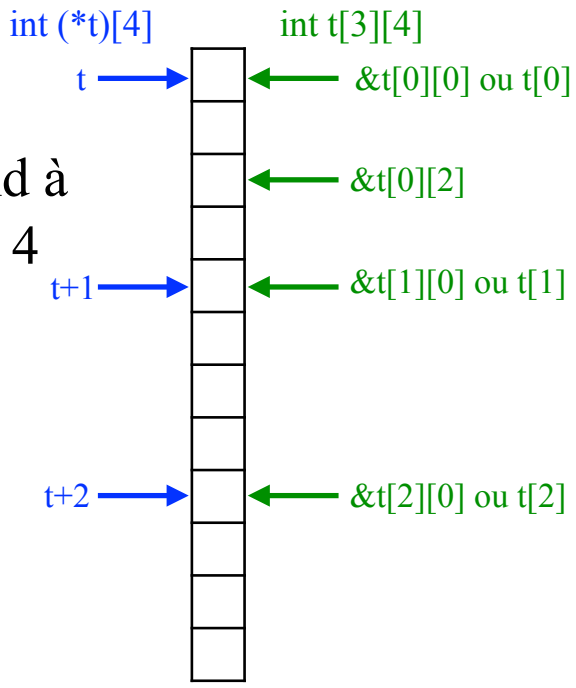
```
i = A+3;
printf("%d\n", i);

i = &A[7]-P;
printf("%d\n", i);

i = P+(*P-10);
printf("%d\n", i);

i = *(P++*(P+8)-A[7]);
printf("%d\n", i);
```

Arithmétique Pointeurs (3)

- Soit la déclaration
  - `int t[3][4];`
  - `t` désigne un tableau de 3 éléments
    - ✓ chaque élément est un tableau de 4 entiers
- Si t représente bien l'adresse de début du tableau
  - il n'est plus de type `int *`
    - ✓ valable pour un tableau à 1 dimension
  - mais plutôt "pointeur sur des blocs de 4 entiers"

Arithmétique Pointeurs (4)

- L'expression `t+1`correspond à l'adresse de t augmentée de 4 entiers
- `t` et `&t[0][0]` sont équivalents



Exercices

- Ecrire un programme qui lit 10 entiers et les place dans un tableau avant d'en rechercher le minimum et le maximum
  - écrire une version qui utilise le formalisme tableau (cfr. Chapitre 4)
  - écrire une version qui utilise le formalisme pointeur
- Ecrire un programme qui ne renvoie aucune valeur mais qui détermine le minimum et maximum d'un tableau
  - la fonction doit avoir 4 arguments: le tableau, sa taille, le minimum, le maximum