Pointeurs

Marie Pelleau
marie.pelleau@univ-cotedazur.fr

Basé sur les transparents de Jean-Charles Régin

Pointeurs

- Les pointeurs sont très utilisés en C
- En général, ils permettent de rendre les programmes
  - plus compacts
  - plus efficaces
- L'accès à un objet se fait de façon indirecte

Pointeurs

```
char c /* alloue de la mémoire pour c */
c = 'a'; /* met 'a' dans la case mémoire correspondant à c */
```

- On ne peut pas décider de l'emplacement mémoire (adresse) de c
- On ne peut pas changer l'adresse de c

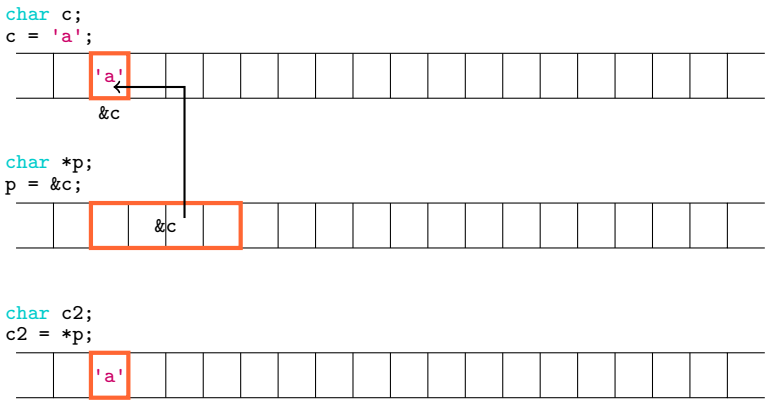
```
char *p;  /* pointeur représenté avec une * */
p = &c;  /* la valeur d'un pointeur est une adresse */
```

Déréférencement : opérateur *

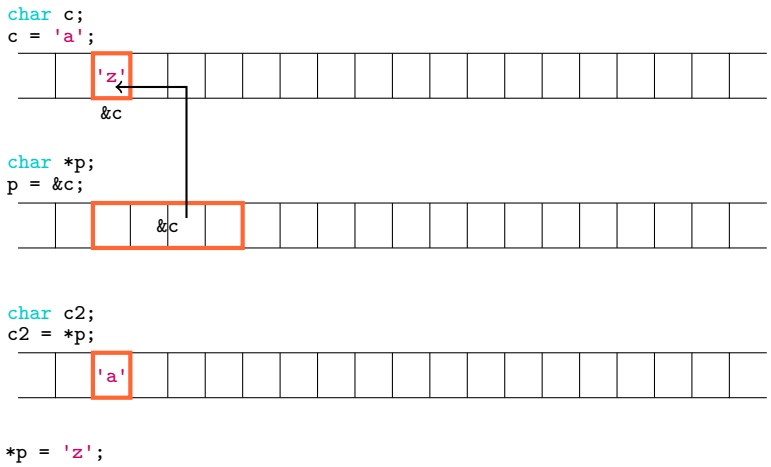
Permet d'interpréter le contenu de la case située à l'adresse du pointeur

```
char c2;
c2 = *p; /* lecture de la case située à l'adresse du pointeur */
*p = 'z'; /* écriture dans la case située à l'adresse du pointeur */
```


Pointeurs



Pointeurs



Pointeurs

- `px = &x`
  Si je modifie `*px` alors je modifie `x` (même case mémoire concernée)
- `px = &y`
  Si je modifie `*px` alors je modifie `y` (même case mémoire concernée)
- `px = &bidule`
  Si je modifie `*px` alors je modifie `bidule` (même case mémoire concernée)
- `px` désigne l'objet pointé
- `*px` modifie l'objet pointé

Pointeurs

Types des pointeurs

- Il faut interpréter le contenu des cases mémoires (2 octets pour un `short`, 4 pour un `int`, big-endian, small-endian, ...)
- On va donc typer les pointeurs pour obtenir ce résultat
- `int *p` veut dire que `*p` sera un `int`, donc `int y = *p` est parfaitement ok

Pointeurs

A quoi cela servent-il ?

- accès direct à la mémoire
- **passage de paramètres**
- partage d'objets
- indirection
- passage par référence
- allocation dynamique

Pointeurs : passage de paramètre

```
struct etudiant {
  char nom[50];
  char prenom[50];
  char adresse[255];
  int notes[10];
};
double calculMoyenne (struct etudiant etud) {
  int i;
  int sum=0;
  for (i = 0; i < 10; i++) {
    sum += etud.notes[i];
  }
  return (double)sum / 10;
}
```

Que se passe t'il quand on passe un étudiant en paramètre ?

- Il y a création d'une variable locale
  - on réalloue de la mémoire pour cette structure locale
  - la structure est entièrement copiée ! Donc au moins 365 opérations !

Pointeurs : passage de paramètre

Comment éviter cela ?

- On définit un tableau global de structure et on passe l'indice de l'élément dans le tableau (je ne vois pas d'autres solutions sans les pointeurs)
- **GROS défauts**
  - Cela impose des données globales (je ne peux pas passer le tableau ! Sinon copie !)
  - Cela impose une structure de tableau, comment gère-t-on les suppressions/ajouts ?
  - Je dois connaitre la taille du tableau au début du programme
- C'est pratiquement injouable

Pointeurs : passage de paramètre

```
 struct etudiant {
  char nom[50];
  char prenom[50];
  char adresse[255];
  int notes[10];
};
double calculMoyenne (struct etudiant etud) {
  int i;
  int sum=0;
  for (i = 0; i < 10; i++) {
    sum += etud.notes[i];
  }
  return (double)sum / 10;
}
```

Solution : on utilise un pointeur sur la structure d'un étudiant

```
double calculMoyenne (struct etudiant *etud) {
  int i, sum=0;
  for (i = 0; i < 10; i++) {
    sum += (*etud).notes[i];
  }
  return (double)sum/10;
}
```

On ne passe que l'adresse mémoire et on travaille avec cette adresse mémoire : il n'y a pas de copie locale

Pointeurs

A quoi cela servent-il ?

- accès direct à la mémoire
- passage de paramètres
- **partage d'objets**
- indirection
- passage par référence
- allocation dynamique

Pointeurs : partages d'objets

Pour chaque note on veut connaitre celui qui a la meilleure note

- Premier (meilleure note) en C
- Premier en Système Exploitation
- Premier en Algorithmique
- Premier en Anglais ...

Comment faire ?

- On fait une copie à chaque fois : mauvaise solution, problème de synchronisation entre les copies
- On utilise des indices pour désigner chaque étudiant : problème demande une gestion sous la forme de tableau des étudiants (avec les inconvénients vu)
- On utilise des pointeurs

Pointeurs : partages d'objets

Pour chaque note on veut connaitre celui qui a la meilleure note

- Premier (meilleure note) en C
- Premier en Système Exploitation
- Premier en Algorithmique
- Premier en Anglais ...

On utilise des pointeurs

```
struct etudiant *pC;
struct etudiant *pSE;
struct etudiant *pAlgo;
struct etudiant *pAnglais;
```

Un même élément peut être partagé !

Pointeurs

A quoi cela servent-il ?

- accès direct à la mémoire
- passage de paramètres
- partage d'objets
- **indirection**
- passage par référence
- allocation dynamique

Pointeurs : indirection

- L'indice d'un tableau est différent du contenu : on fait une indirection
- C'est pareil avec les pointeurs
- Plus petit élément d'un ensemble (`ppelt`)
  - Avec un tableau d'élément de type `t`, `ppelt` est un indice
  - Avec n'importe quelle structure de données d'élément de type `t`, `ppelt` est un pointeur de type `t` (`t *ppelt`)

Pointeurs

A quoi cela servent-il ?

- accès direct à la mémoire
- passage de paramètres
- partage d'objets
- indirection
- **passage par référence**
- allocation dynamique

Pointeurs : passage par référence

Comment modifier un paramètre avec une fonction ?

```
double calculMoyenne (struct etudiant *etud) {
  /* on calcule la moyenne */
  return (double)sum / 10;
}
```

On voudrait faire

```
double calculMoyenne (struct etudiant *etud, double moy) {
  /* on calcule la moyenne */
  moy = (double)sum/10;
}
```

Cette solution ne marche pas car `moy` est copié dans une variable locale

Pointeurs : passage par référence

Un pointeur contient une adresse mémoire

Si on déréference on touche directement à l'adresse mémoire. C'est ce qu'il nous faut !

```
double calculMoyenne (struct etudiant *etud, double *moy) {
  /* on calcule la moyenne */
  *moy = (double)sum / 10;
}
```

Cette solution marche car on modifie ce qui est à l'adresse mémoire passée en paramètre. C'est l'adresse qui est passée et non plus la valeur

Pointeurs

A quoi cela servent-il ?

- accès direct à la mémoire
- passage de paramètres
- partage d'objets
- indirection
- passage par référence
- **allocation dynamique**

Pointeurs : allocation dynamique

- On ne peut pas toujours connaitre la taille d'une structure de données au moment ou on écrit le code source
  - Nombre d'étudiants à l'université ? Nombre d'arbres dans un jardin ?
- On peut surestimer mais cela peut créer des problèmes

- Allocation dynamique
  - Comment allouer `n` éléments, avec `n` qui sera défini à l'exécution ?
  - Comment définir cette variable dans le programme ?

Pointeurs : allocation dynamique

- Allocation dynamique
  - Comment allouer `n` éléments, avec `n` qui sera défini à l'exécution ?
  - Comment définir cette variable dans le programme ?
- Solution : on travaille en fait avec des cases mémoires avec les pointeurs
  - on n'a pas besoin que la mémoire soit définie,
  - on a juste besoin de savoir que c'est la mémoire à un certain endroit qui va être utilisée
- On allouera cette mémoire (cela veut dire on réservera cette place mémoire) après quand on connaîtra la taille, en utilisant des fonctions spéciales : `malloc`, `calloc`, `realloc`

Pointeurs : allocation dynamique

- Allocation dynamique
  - Comment allouer `n` éléments, avec `n` qui sera défini à l'exécution ?
  - Comment définir cette variable dans le programme ?

```
int* tab; /* tab est un tableau */
int n;
tab = calloc(n, sizeof(int));  /* réserve de la place pour
    n entiers */
/* calloc retourne une adresse mémoire et dit à l'OS que la
     place est réservée à cet endroit */
```


Pointeurs : allocation mémoire

- En utilisant les fonctions standard suivantes, l'utilisateur a la garantie que la mémoire allouée est contigüe et respecte les contraintes d'alignement
- Ces fonctions se trouvent dans le fichier de déclarations `stdlib.h`
  - `void *malloc (size_t taille);`
    permet d'allouer `taille` octets dans le tas
  - `void *calloc (size_t nb, size_t taille);`
    permet d'allouer `taille`×`nb` octets dans le tas, en les initialisant à 0
  - `void *realloc (void *ptr, size_t taille);`
    permet de réallouer de la mémoire
  - `void free (void *ptr);`
    permet de libérer de la mémoire (ne met pas `ptr` à `NULL`)

Pointeur

- Un pointeur est un type de données dont la valeur fait référence (référencie) directement (pointe vers) à une autre valeur
- Un pointeur référencie une valeur située quelque part en mémoire en utilisant son adresse
- Un pointeur est une variable qui contient une adresse mémoire
- Un pointeur est un type de données dont la valeur **pointe vers** une autre valeur.
- Obtenir la valeur vers laquelle un pointeur pointe est appelé **déréférencer** le pointeur.
- Un pointeur qui ne pointe vers aucune valeur aura la valeur `NULL` ou 0
- En Java **TOUT** est pointeur

Pointeur

Comment déclarer un pointeur ?

```
type *nom_pointeur;
```

```
char   *p;
int   *p1,   *p2;
struct  {int  x,  y;}  *q;
void   *r;
int   *s1[3];
int   (*fct)(void);
int   (*T[5])(void);
double   *f(void);
```


Pointeur

- Adresse d'une variable `x` est désignée en utilisant `&`
  `&x;`
- Pointeur "universel" : `void *`
- Pointeur sur "rien du tout" : constante entière 0 ou `null` (macro définie dans le fichier de déclarations `stdlib.h`)
- Simplification d'écriture : si `q` est un pointeur sur une structure contenant un champ `x`
  `q->x` est équivalent à `(*q).x`

Références fantômes !

```
#include <stdlib.h>

int * f1 (void) {
  int a = 3;
  return &a;
  /* warning: function returns address of local variable */
}

int * f2 (void) {
  int *a = malloc(sizeof(int));
  return a;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int *p1 = f1();
  int *p2 = f2();
  return 0;
}
```

Que se passe-t-il ?

```c
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
  int i = 0;
  char c, *pc;
  int *pi;

  printf("sizeof(char) = %d, sizeof(int) = %d,\nsizeof(void*)
      = %d\n\n", sizeof (char), sizeof (int), sizeof (void *))
      ;
  printf("&i = %p,\n&c = %p,\n&pc = %p,\n&pi = %p\n\n", (void
      *)&i, (void *)&c, (void *)&pc, (void *)&pi);

  c = 'a';
  pi = &i;
  pc = &c;
  *pi = 50;
  *pc = 'B';
  printf("i = %d, c = %c,\npc = %p, *pc = %c,\npi = %p, *pi =
      %d\n", i, c, pc, *pc, pi, *pi);
  return 0;
}
```

```
sizeof(char)  =  1,  sizeof(int)  =  4,
sizeof(void  *)  =  8

&i  =  0xbffff7b4,
&c  =  0xbffff7b3,
&pc  =  0xbffff7ac,
&pi  =  0xbffff7a8

i  =  50,  c  =  B,
pc  =  0xbffff7b3,  *pc  =  B,
pi  =  0xbffff7b4,  *pi  =  50
```


Que se passe-t-il ?

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
  int i = 0;
  char c, *pc;
  int *pi;

  printf("sizeof(char) = %d, sizeof(int) = %d,\nsizeof(void*)
      = %d\n\n", sizeof (char), sizeof (int), sizeof (void *))
      ;
  printf("&i = %p,\n&c = %p,\n&pc = %p,\n&pi = %p\n\n", (void
      *)&i, (void *)&c, (void *)&pc, (void *)&pi);

  c = 'a';
  pi = calloc(1, sizeof(int));
  pc = calloc(1, sizeof(char));
  *pi = 50;
  *pc = 'B';
  printf("i = %d, c = %c,\npc = %p, *pc = %c,\npi = %p, *pi =
      %d\n", i, c, pc, *pc, pi, *pi);
  return 0;
}
```

```
sizeof(char)  =  1,  sizeof(int)  =  4,
sizeof(void  *)  =  8

&i  =  0xbffff7b4,
&c  =  0xbffff7b3,
&pc  =  0xbffff7ac,
&pi  =  0xbffff7a8

i  =  0,  c  =  a,
pc  =  0x80497c8,  *pc  =  B,
pi  =  0x80497c8,  *pi  =  50
```


Passage par référence

En C, le passage des paramètres se fait toujours par valeur

```c
#include <stdio.h>

void swap (int a, int b) {
  int aux;
  aux = a;
  a = b;
  b = aux;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int x = 3;
  int y = 5;

  printf("av : x = %d, y = %d\n", x, y);
  swap(x, y);
  printf("ap : x = %d, y = %d\n", x, y);

  return 0;
}
```


Passage par référence

Les pointeurs permettent de simuler le passage par référence

```c
#include <stdio.h>
void swap (int *a, int *b) {
  int aux;
  aux = *a;
  *a = *b;
  *b = aux;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int x = 3;
  int y = 5;

  printf("av : x = %d, y = %d\n", x, y);
  swap(&x, &y);
  printf("ap : x = %d, y = %d\n", x, y);

   return 0;
}
```

Pointeurs et tableaux

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

void imp (int t[], int lg) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++) {
    printf("%d ", t[i]);
  }
  fputc('\n', stdout);
}

void maz (int t[], int lg) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++) {
    t[i] = 0;
  }
}

void mess (int t[], int lg) {
  int i;
  t = malloc(sizeof(int) * lg);
  for (i = 0; i < lg; i++) {
    t[i] = 33;
  }
  imp(t, lg);
}
```

```c
#define MAX 10

int main (int argc, char *argv[]) {
  int t[MAX];

  maz(t, MAX);
  imp(t, MAX);

  mess(t, MAX);
  imp(t, MAX);

  return 0;
}
```


Langage C | Pointeurs

Pointeurs et tableaux

- Notions très liées en C
- Le nom du tableau correspond à l'adresse de départ du tableau (en fait l'adresse du premier élément)
  Si `int t[10];` alors `t = &t[0]`
- Si on passe un tableau en paramètre, seule l'adresse du tableau est passée (il n'existe aucun moyen de connaître le nombre d'éléments)
- En fait, l'utilisation des crochets est une simplification d'écriture. La formule suivante est appliquée pour accéder à l'élément `i`
  `a[i]` est équivalent à `*(a + i)`

Marie Pelleau | Programmation C | 2020-2021 | 20 / 26

Langage C | Pointeurs

Pointeurs : opérations arithmétique

- Un pointeur contenant une adresse, on peut donc lui appliquer des opérations arithmétiques
  - pointeur + entier donne un pointeur
  - pointeur - entier donne un pointeur
  - pointeur - pointeur donne un entier
- Le dernier point est **FORTEMENT déconseillé** car très peu portable

Marie Pelleau | Programmation C | 2020-2021 | 21 / 26

Langage C | Pointeurs

Pointeurs : opérations arithmétique

```c
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
  int t1[10], t2[20];

  printf ("t1 = %p, t2 = %p\n", t1, t2);
  printf ("t1 + 3 = %p, &t1[3] = %p\n", t1 + 3, &t1[3]);
  printf ("&t1[3] - 3 = %p\n", &t1[3] - 3);
  printf ("t1 - t2 = %d\n", t1 - t2);
  printf ("t2 - t1 = %d\n", t2 - t1);

  return 0;
}
```

```
t1 = 0xbffff780, t2 = 0xbffff730
t1 + 3 = 0xbffff78c, &t1[3] = 0xbffff78c
&t1[3] - 3 = 0xbffff780
t1 - t2 = 20
t2 - t1 = -20
```

Marie Pelleau | Programmation C | 2020-2021 | 21 / 26

Pointeurs : opérations arithmétique

```c
#include <stdio.h>

void imp (int t[], int n) {
  int i;
  for (i = 0; i < n; i++) {
    printf ("%d ", t[i]);
  }
  fputc('\n', stdout);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int tab[] = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0};

  imp(tab, sizeof (tab) / sizeof (tab[0]));
  imp(tab + 5, 5);

  return 0;
}
```


Pointeurs : opérations arithmétique

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define M 5

void imp (int t[], int n) {
  int i;
  for (i = 0; i < n; i++) {
    printf("%d ", t[i]);
  }
  fputc('\n', stdout);
}

void copie (int t[], int *p, int n) {
  int i;
  for (i = 0; i < n; i++) {
    *p++ = t[i];
  }
}

void saisie (int t[], int n) {
  int i;
  printf("les %d nombre ? ", n);
  for (i = 0; i < n; i++) {
    scanf("%d", &t[i]); /* t + i */
  }
}
```

```c
int main (int argc, char *argv[]) {
  int *p = calloc(M, sizeof(int));
  int t[M];

  saisie(t, M);
  imp(t, M);
  imp(p, M);

  copie(t, p, M);
  imp(t, M);
  imp(p, M);

  return 0;
}
```


Pointeurs et chaînes de caractères

- Une constante chaîne de caractères a comme valeur l'adresse mémoire de son premier caractère (on ne peut la modifier)
- Son type est donc pointeur sur caractères

```c
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
  char y[] = "1234";
  char *x = "1234";
  char z[10] = "1234";
  char tc[] = {'1', '2', '3', '4'};

  printf ("x = %p, &x = %p\n", x, (void *)&x);
  printf ("y = %p, &y = %p\n", y, (void *)&y);

  return 0;
}
```


Parcours de chaînes de caractères

```c
#include <stdio.h>

void aff (char *s) {
  while (*s) {
    fputc(*s, stdout);
    s++;
  }
  fputc('\n', stdout);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  char s1[] = "bonjour vous !";
  char *s2 = "et vous aussi !";

  aff(s1);
  aff(s2);

  return 0;
}
```

Pointeurs et fonctions

En C, le type pointeur sur fonction existe

- `typedef int (*tpf) (int);`
  déclaration de `tpf` comme étant un type pointeur sur fonction prenant un `int` en paramètre et renvoyant un `int`
- `float (*vpf) (double, char*);`
  déclaration de `vpf` comme étant une variable de type pointeur sur fonction prenant en paramètres un `double` et un `char*` et renvoyant un `float`
- `char *f (int);`
  déclaration de `f` comme étant une constante de type pointeur sur fonction prenant en paramètre un `int` et renvoyant un `char*`

Pointeurs et fonctions

Lorsqu'on définit une fonction, en fait on déclare une constante de type pointeur sur fonction et sa valeur est l'adresse de la première instruction de la fonction

```
#include <stdio.h>

int max (int a, int b) {
  return a > b ? a : b;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  printf("%p\n", (void *)printf);
  printf("%p\n", (void *)&printf);
  printf("%p\n", (void *)max);
  printf("%p\n", (void *)max(1, 16));

  return 0;
}
```


Fonctions en paramètre

Il suffit de passer le type du pointeur sur fonction (concerné) en paramètre

```
#include <stdio.h>
#define MAX 10

void imp (int t[], int lg) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++) {
    printf("%d ", t[i]);
  }
  fputc('\n', stdout);
}

int maz (int a) {
  return 0;
}

int plus1 (int a) {
  return a + 1;
}
```

```
void modif (int t[], int lg, int (*f) (int)) {
  int i;
  for (i = 0; i < lg; i++) {
    t[i] = f(t[i]);
  }
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int t[MAX];

  modif(t, MAX, maz);
  imp(t, MAX);

  modif(t, MAX, plus1);
  imp(t, MAX);

  modif(t, MAX, plus1);
  imp(t, MAX);

  return 0;
}
```


Pointeur polymorphe (`void*`)

```
void swap (int *a, int *b) {
  int aux;
  aux = *a;
  *a = *b;
  *b = aux;
}
```

```
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

void swap (void *a, void *b, short taille) {
  void *aux = malloc(taille);

  memcpy(aux, a, taille);
  memcpy(a, b, taille);
  memcpy(b, aux, taille);

#if 0
  /* c'est complètement faux : on déréférence un void * !!! */
  *aux = *a;
  *a = *b;
  *b = *aux;
#endif
}
```

Pointeur polymorphe (void*)

```c
#include <stdio.h>
#include "swap.h"
#define imp(t, s1, s2, x, s3, y) \
    fprintf(stdout, "%s: %s = " t", %s = " t"\n", s1, s2, x, s3, y)
int main (int argc, char *argv[]) {
  int a = 3, b = 9;
  float x = 13, y = 19;
  double m = 23.45, n = 25.0;
  char c1 = 'a', c2 = 'B';

  imp("%d", "avant", "a", a, "b", b);
  swap(&a, &b, sizeof(int));
  imp("%d", "après", "a", a, "b", b);

  imp("%.2f", "avant", "x", x, "y", y);
  swap(&x, &y, sizeof(float));
  imp("%.2f", "après", "x", x, "y", y);

  imp("%.2f", "avant", "m", m, "n", n);
  swap(&m, &n, sizeof(double));
  imp("%.2f", "après", "m", m, "n", n);

  imp("%c", "avant", "c1", c1, "c2", c2);
  swap(&c1, &c2, sizeof(char));
  imp("%c", "après", "c1", c1, "c2", c2);

  return 0;
}
```


Pointeur polymorphe (void*)

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

void swap (void **a, void **b) {
  void *aux = malloc(sizeof(void *));
  aux = *b;
  *b = *a;
  *a = aux;
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int a = 3, b = 4;
  int *x = &a, *y = &b;
  double *m = malloc(sizeof(double));
  double *n = malloc(sizeof(double));

  fprintf(stdout, "av: a = %d, b = %d, x = %d, y = %d\n", a, b, *x, *y);
  swap(&x, &y);
  fprintf(stdout, "ap: a = %d, b = %d, x = %d, y = %d\n", a, b, *x, *y);

  *m = 3.456;
  *n = 1.2345;
  printf("av: *m = %f, *n = %f\n", *m, *n);
  swap(&m, &n);
  printf("ap: *m = %f, *n = %f\n", *m, *n);

  return 0;
}
```