INFORMATIQUE
Sciences
Université Paris Cité

Langage C –Cours 4

Lélia Blin

lelia.blin@irif.fr

2023 - 2024

Tableaux de tableaux

Allocation dynamique

Retour sur les tableaux de tableaux

Prenons un tableau de tableaux d'entiers (où chaque sous-tableau contient deux entiers)

```
int tab[4][2]={{1,2},{10,20},{100,200},{1000,2000}} ;
```

On veut faire une fonction qui affiche le contenu de tab avec chaque sous-tableau affiché sur une ligne

```
void affiche(int t[][],size_t t1,size_t t2){
  for(size_t i=0;i<t1;++i){
    for(size_t j=0;j<t2;++j){
      printf("%d ",t[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

Retour sur les tableaux de tableaux

On veut faire une fonction qui affiche le contenu de tab avec chaque sous-tableau affiché sur une ligne

```
void affiche(int t[][],size_t t1,size_t t2){
  for(size_t i=0;i<t1;++i){
    for(size_t j=0;j<t2;++j){
      printf("%d ",t[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

> FAUX
>
> Il faut préciser dans l'en-tête de la fonction la taille des sous-tableaux

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
//tab-tab.c

void affiche( int [][2],size_t);

int main(){
  int t[4][2]={{1,2},{10,20},{100,200},{1000,2000}};
  affiche(t,4);
  return EXIT_SUCCESS;
}

void affiche(int t[][2],size_t t1){
  for(size_t i=0;i<t1;++i){
    for(size_t j=0;j<2;++j){
      printf("%d ",t[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

Retour sur les tableaux de tableaux

- Mais du coup ici on passe un tableau en arguments d'une fonction

```
void affiche(int t[][2],size_t t1){
  for(size_t i=0;i<t1;++i){
    for(size_t j=0;j<2;++j){
      printf("%d ",t[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

Retour sur les tableaux de tableaux

- Est-ce-que son type est int ** (un pointeur de pointeur) ?
  - NON !!!!!!!!!!!
- En fait il s'agit d'un pointeur vers un tableau de taille 2, le type de t s'écrit : int *() [2] (ou dans la fonction int (* t)[2])*
- Rappelez vous les tableaux ne sont pas des pointeurs
- **EN RÉSUMÉ** : évitez autant que faire se peut les tableaux à plusieurs dimensions, et préférez l'utilisation de l'allocation dynamique (prochain cours)

```c
//tab-tab2.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

void affiche(int (*)[2],size_t);

int main(){
  int t[4][2]={{1,2},{10,20},{100,200},{1000,2000}};
  affiche(t,4);
  return EXIT_SUCCESS;
}

void affiche(int (*t)[2],size_t t1){
  for(int (*p)[2]=t; p<t+t1;++p){
    for(int *p2=*p; p2<(*p)+2;++p2){
      printf("%d ",*p2);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

```c
//tab-tab3.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

void affiche(int (*)[2],size_t);

int main(){
  int t[4][2]={{1,2},{10,20},{100,200},{1000,2000}};
  affiche(t,4);
  return EXIT_SUCCESS;
}

void affiche(int (*t)[2],size_t t1){
  for(int (*p)[2]=t; p<t+t1;++p){
    printf("Valeur de p : %p\n",p);
    for(int *p2=*p; p2<(*p)+2;++p2){
      printf("Adresse de p2 : %p Valeur : %d \n",p2,*p2);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

Pré-déclarion

- Le code est lu de haut en bas.
- Si vous appelez une fonction avant sa définition, le compilateur ne sait pas encore ce qu'est cette fonction.
- En pré-déclarant la fonction, vous indiquez au compilateur qu'il y aura une fonction avec ce nom et ce type de retour plus tard dans le code.
- La pré-déclaration permet également de spécifier le type de retour de la fonction ainsi que ses paramètres.
- Cela permet au compilateur de vérifier que les appels de fonction sont cohérents avec la définition réelle de la fonction.

Allocation de zone mémoire

- Comment faire une fonction qui crée l'équivalent d'un tableau d'entiers de 100 cases avec à la i-ème case, la valeur i ?
- Fausse bonne idée :

```
int *create_tab(){
  int tab[100];
  for(size_t i=0;i<100;++i){
    tab[i]=i;
  }
  int *tab2=tab;
  return tab2;
}
```

```c
int *create_tab(){
  int tab[100];
  for(size_t i=0;i<100;++i){
    tab[i]=i;
  }
  int *tab2=tab;
  return tab2;
}
```

- Ce code compile sans problème
  - MAIS le pointeur retourné pointe vers une zone mémoire locale qui devient invalide une fois que la fonction a terminé son exécution.
  - Quand on sortira de la fonction, cette partie de la mémoire peut être réécrite

```c
//create_tab.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

int *create_tab();

int main(){
  int *t=create_tab();
  for(int *ptr=t;ptr<t+100;++ptr){
    printf("%d \n",*ptr);
  }
  return EXIT_SUCCESS;
}
int *create_tab(){
  int tab[100];
  for(size_t i=0;i<100;++i){
    tab[i]=i;
  }
  int *t=tab;
  return t;
}
```

Sur ma machine, quand je l'exécute les valeurs affichées ne sont pas celles attendues, par exemple : -519830016, 0, 16, 48, etc

Pile d'exécution vs Tas mémoire

- Quand une variable/un tableau est créé lors d'un appel à une fonction
  - Elle/Il est stocké dans la pile d'exécution
  - Elle/Il a duré de vie limité qui correspond à la durée de vie de la fonction
  - Ensuite elle peut être écrasé

> - Donc, ce n'est pas une bonne idée de créer des variables/des tableaux dans des fonctions dont les emplacements mémoire vont ensuite être utilisées quand on sortira de la fonction !

Pile d'exécution vs Tas mémoire

- Donc, ce n'est pas une bonne idée de créer des variables/des tableaux dans des fonctions dont les emplacements mémoire vont ensuite être utilisées quand on sortira de la fonction !
- Comment faire autrement :
  - Il faut allouer (**réserver**) des zones dans le tas mémoire
  - Ces zones ne seront pas réécrites/supprimées automatiquement
  - il faudra cela dit les libérer nous-même

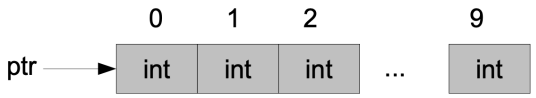
Allouer dynamiquement la mémoire

- La fonction
  - `void *malloc(size_t size)`
- Elle permet d'allouer size octets consécutifs dans la mémoire
- Son type de retour est `void *` pour dire qu'elle renvoie un pointeur
- Si quelque chose se passe mal,
  - la fonction renvoie le pointeur NULL
  - et elle met à jour la variable globale errno (voir plus loin)
  - l'allocation pourrait mal se passer si
- Si l'appel se déroule correctement, la fonction renvoie un pointeur vers une zone allouée dans le tas mémoire de size octets

Allouer dynamiquement la mémoire

```c
int *ptr=malloc(10*sizeof(int);
if(ptr!=NULL){
  //on peut accéder à la zone
}
```

- Si les choses se passent bien on obtient alors :



- Cette zone est dans le tas mémoire
- On peut la parcourir et y changer les données
- Le contenu de chaque 'case' n'est pas initialisée

```c
//pointeur-simple.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

int *create(size_t);

int main(){
  int *t=create(20);
  if(t!=NULL){
    printf("[");
    for(int *ptr=t;ptr<t+20;++ptr){
      printf("%d",*ptr);
      if(ptr!=t+19){
        printf(", ");
      }
    }
    printf("]\n");
  }
}

int* create(size_t n){
  int *tab=malloc(n*sizeof(int));
  for(size_t i=0;i<n;++i){
    *(tab+i)=i;
  }
  return tab;
}
```

Errno

- Certaines fonctions de librairies standards (voir leur page man), utilisent la variable globale `errno` pour mettre un code d'erreur en cas de mauvais fonctionnement
- Vous n'avez pas nécessairement à connaître ce code d'erreur

Perror

- La fonction `perror` permet d'afficher un message d'erreur correspondant au code d'erreur actuellement stocké dans `errno` .
- `void perror(const char *s)` (`<stdio.h>`)
- Elle affichera la chaîne de caractères suivi du message lié à l'erreur

```
int *ptr=malloc(10*sizeof(int);
if(ptr==NULL){
  perror("Probleme d'allocation");
  exit(1);
}
```

Erreur

- Lorsque `malloc` échoue (c'est-à-dire qu'il retourne `NULL`), `errno` est mis à jour avec un code d'erreur correspondant.
- `perror` est alors appelé avec le message "Probleme d'allocation", suivi du message d'erreur associé à l'erreur d'allocation de mémoire.
- Enfin, le programme se termine avec un code de sortie de 1 à l'aide de `exit(1)`, indiquant ainsi qu'une erreur s'est produite.

```c
//pointeur-simple2.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

int *create(size_t);

int main(){
  int *t=create(20);
  if(t!=NULL){
    printf("[");
    for(int *ptr=t;ptr<t+20;++ptr){
      printf("%d",*ptr);
      if(ptr!=t+19){
        printf(", ");
      }
    }
    printf("]\n");
  }
}

int* create(size_t n){
  int *tab=malloc(n*sizeof(int));
  if(tab==NULL){
    perror("Probleme create");
  }else{
    for(size_t i=0;i<n;++i){
      *(tab+i)=i;
    }
  }
  return tab;
}
```

Libérer la mémoire

- Les zones allouées dynamiquement
  - sont situées dans le tas mémoire
  - et existent encore même si l'on sort de la fonction qui les a créé
- Il est **important** de les libérer grâce à la fonction
  - `void free(void *ptr)`

free

- Cette fonction libère la zone allouée pointée par le pointeur ptr
  - **Si ptr vaut NULL cette fonction ne fait rien**
  - Ceci permet d'**éviter les fuites mémoire** (memory leak en anglais)
  - Une zone allouée qui n'est plus pointée par aucune variable

free

```c
int *ptr=malloc(10*sizeof(int);
ptr=malloc(10*sizeof(int);
```

- Avec le deuxième malloc, plus aucune variable ne pointe sur la première zone !
- Elle est réservée dans le tas mémoire et on ne pourra jamais l'effacer

> - Même si vous ne les voyez pas, les fuites mémoire sont une erreur grave de programmation

```c
//test-errno.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
#include <stdbool.h>
int main(){
  unsigned d=0;
  while(true){
    int *t=malloc(1000000000*sizeof(int));
    if(t==NULL){
      perror("Probleme d'allocation");
      exit(1);
    }
    printf("Iteration %u\n",d);
    ++d;
  }
}
```

- Ici le programme alloue de plus en plus de mémoire qui n'est jamais libérée
- On finit par avoir un problème avec le malloc qui échoue

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
#include <stdbool.h>
//test-errno-free.c

int main(){
  unsigned d=0;
  while(true){
    int *t=malloc(1000000000*sizeof(int));
    if(t==NULL){
      perror("Probleme d'allocation");
      exit(1);
    }
    printf("Iteration %u\n",d);
    ++d;
    free(t);
  }
}
```

Pointeur de pointeurs

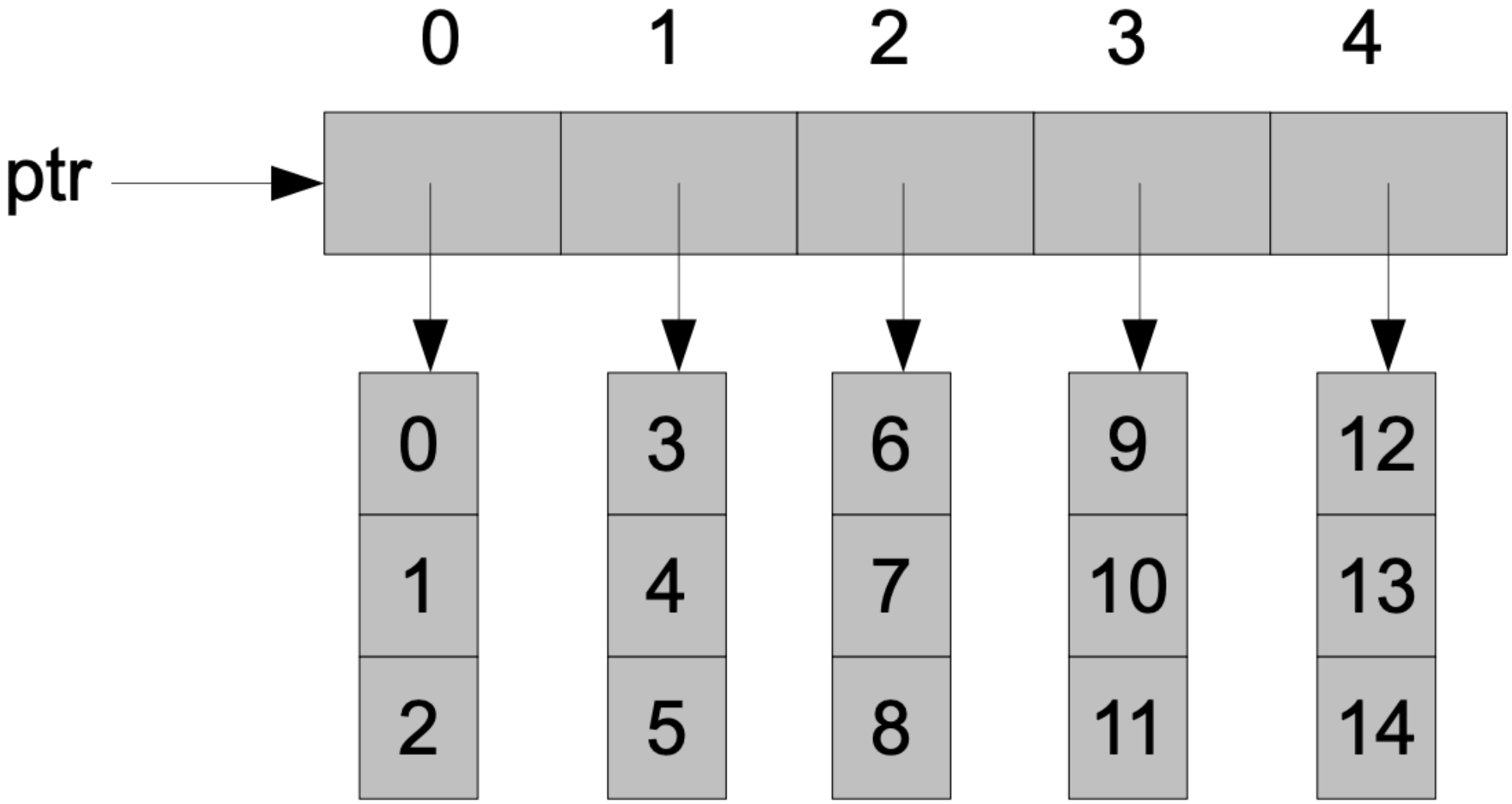
- On a vu que les tableaux multi-dimensionnels étaient complexes à gérer
- MAIS on peut utiliser des pointeurs de pointeurs

```
int x=0;
int **ptr=malloc(5*sizeof(int*));
for(int **p=ptr;p<ptr+5;++p){
  *p=malloc(3*sizeof(int);
  for(int *p2=*p;p2<(*p)+3;++p2)){
    *p2=x;
    ++x;
  }
}
```

```c
int x = 0;  // Déclaration et initialisation d'une variable entière x à 0

// Allocation dynamique de mémoire pour un tableau de pointeurs vers des entiers
int **ptr = malloc(5 * sizeof(int*));

// Boucle for pour initialiser chaque élément du tableau ptr
for (int **p = ptr; p < ptr + 5; ++p) {
    // Allocation dynamique de mémoire pour un tableau d'entiers de taille 3
    *p = malloc(3 * sizeof(int));

    // Boucle for pour initialiser chaque élément du tableau d'entiers
    for (int *p2 = *p; p2 < (*p) + 3; ++p2) {
        *p2 = x;  // Assignation de la valeur de x à l'élément actuel du tableau d'entiers
        ++x;      // Incrémentation de x pour la prochaine itération
    }
}
```

Lélia Blin

Pointeur de pointeurs

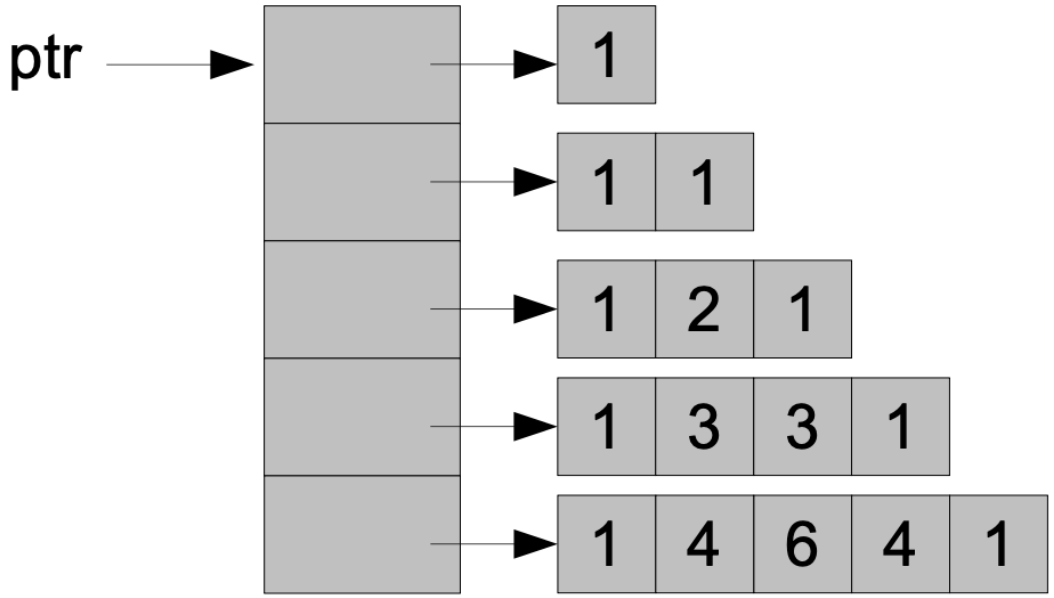


```c
//pointeur-pointeur.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

int main(){
  int x=0;
  int **ptr=malloc(5*sizeof(int*));
  for(int **p=ptr;p<ptr+5;++p){
    *p=malloc(3*sizeof(int));
    for(int *p2=*p;p2<(*p)+3;++p2){
      *p2=x;
      ++x;
    }
  }
  for(size_t i=0;i<5;++i){
    for(size_t j=0;j<3;++j){
      printf("%d ",*(*(ptr+i)+j));
    }
    printf("\n");
  }
  for(int **p=ptr;p<ptr+5;++p){
    free(*p);
  }
  free(ptr);
}
```

Triangle de pascal

- On veut faire une fonction qui crée le triangle de Pascal de taille n>0
- Il a n lignes
- la ligne i contient i+1 éléments a[i,0], a[i,1],..., a[i,i] (pour i allant de 0 à n-1)
- On a a[i+1,j] = a[i,j-1]+a[i,j] si j>0 et j<i+1 sinon a[i+1,j]=1 et a[0,0]=1

Triangle de pascal



```c
unsigned **pascal(size_t n){
  if(n>0){
    unsigned **tp=malloc(n*sizeof(unsigned *));
    if(tp==NULL){
      return NULL;
    }
    for(size_t i=0;i<n;++i){
      *(tp+i)=malloc((i+1)*sizeof(unsigned));
      if(*(tp+i)==NULL){
        return NULL;
      }
      for(size_t j=0;j<=i;++j){
        if(i==0 || j==0 || j==i){
          *(*(tp+i)+j)=1;
        }else{
          *(*(tp+i)+j)=*(*(tp+i-1)+j-1)+*(*(tp+i-1)+j);
        }
      }
    }
    return tp;
  }else{
    return NULL;
  }
}
```

pascal.c

```c
void affiche_pascal(unsigned **tp,size_t n){
  for(size_t i=0;i<n;++i){
    for(size_t j=0;j<=i;++j){
      printf("%u ",*(*(tp+i)+j));
    }
    printf("\n");
  }
}

void libere_pascal(unsigned** tp,size_t n){
  for(size_t i=0;i<n;++i){
    free(*(tp+i));
  }
  free(tp);
}
```

pascal.c

Allouer la mémoire

- Autre fonction pour allouer la mémoire
  - `void *calloc(size_t count, size_t size)`
- Cette fonction alloue une zone dans la mémoire pour `count` objets de taille `size` (idem que malloc(count*size))
- En plus, elle initialise toute la zone allouée avec des 0

```c
int *ptr=calloc(10,sizeof(int);
```

malloc vs calloc

- `malloc` offre un contrôle précis sur l'allocation de mémoire sans initialisation automatique, ce qui peut être avantageux dans certaines situations de performance ou de flexibilité,
- `calloc` offre une initialisation automatique de la mémoire, ce qui peut être plus sûr et plus simple à utiliser dans des cas courants où une initialisation à zéro est souhaitable.
- Les zones allouées avec calloc doivent aussi être libérées avec free

Avantages de `malloc` :

- **Contrôle précis de l'allocation** : `malloc` n'initialise pas la mémoire allouée, ce qui permet un contrôle précis sur la façon dont la mémoire est utilisée et initialisée.
- **Performance** : Étant donné qu'elle n'initialise pas la mémoire, `malloc` peut être légèrement plus rapide que `calloc`, surtout pour de grandes allocations de mémoire, car elle n'a pas à initialiser chaque octet.
- **Plus flexible** : `malloc` permet à l'utilisateur de décider quand et comment initialiser la mémoire allouée, ce qui peut être utile dans certaines situations où l'initialisation n'est pas nécessaire ou doit être effectuée de manière personnalisée.

Inconvénients de `malloc` :

- **Besoin d'une initialisation manuelle** : L'utilisateur doit initialiser manuellement la mémoire allouée avec `malloc`, ce qui peut entraîner des erreurs si l'initialisation est oubliée.
- **Possibilité de lire des données non initialisées** : Si l'utilisateur oublie d'initialiser la mémoire allouée avec `malloc`, il peut y avoir des données non initialisées, ce qui peut entraîner des comportements imprévisibles dans le programme.

Avantages de `calloc` :

- **Initialisation automatique** : `calloc` initialise automatiquement la mémoire allouée avec des zéros, ce qui peut être avantageux lorsque vous avez besoin d'une initialisation automatique, par exemple lors de l'allocation de tableaux ou de structures où une initialisation à zéro est utile.
- **Plus sûr** : Étant donné que `calloc` initialise automatiquement la mémoire allouée, elle peut aider à éviter les bugs causés par l'accès à des données non initialisées.
- **Facilité d'utilisation** : Pour les utilisations courantes où une initialisation à zéro est souhaitable, `calloc` peut être plus simple à utiliser et peut réduire la probabilité d'erreurs liées à l'initialisation manuelle de la mémoire.

Inconvénients de `calloc` :

- **Moins performant** : `calloc` doit initialiser chaque octet de mémoire allouée avec zéro, ce qui peut être plus coûteux en termes de performances par rapport à `malloc`, surtout pour de grandes allocations de mémoire.
- **Moins flexible** : Étant donné que `calloc` initialise automatiquement la mémoire, l'utilisateur n'a pas de contrôle direct sur le processus d'initialisation, ce qui peut être un inconvénient dans certaines situations où une initialisation personnalisée est nécessaire.

```c
//malloc-calloc.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

int main(){
  unsigned *t=malloc(10*sizeof(unsigned));
  if(t==NULL){
    perror("Probleme malloc");s
    exit(1);
  }
  for(unsigned *ptr=t;ptr<t+10;++ptr){
    printf("%u ",*ptr);
  }
  printf("\n");
  free(t);
  t=calloc(10,sizeof(unsigned));
  if(t==NULL){
    perror("Probleme calloc");
    exit(1);
  }
  for(unsigned *ptr=t;ptr<t+10;++ptr){
    printf("%u ",*ptr);
  }
  printf("\n");
  free(t) ;
}
```

Résultat

```
>../malloc-calloc
0 1610612736 0 1610612736 2411200528 32767 1475776918 32767 2411217256 32767
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Changer la taille de la zone allouée

- Il est possible de modifier la taille de la zone allouée
  - `void *realloc(void *ptr, size_t size)`
- Cette fonction ré-alloue une zone dans la mémoire de taille size octets
- ptr est un pointeur vers la zone allouée originale
- La fonction renvoie un pointeur vers la nouvelle zone si tout s'est bien passé et NULL sinon

Changer la taille de la zone allouée

- Comment elle fonctionne :
  - soit elle change la taille et ne déplace rien
  - soit elle déplace la zone pointée par ptr puis elle l'étend et elle libère l'ancienne zone pointée
- Cela permet soit d'augmenter la taille d'une zone mais aussi de diminuer pour libère de la place en mémoire
- En quand de déplacement, les données dans la zone sont recopiées
- Quand on n'a plus besoin de la zone allouée, il faut là aussi faire un free

```c
//realloc.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
#include <assert.h>

int main(){
  int *t=malloc(5*sizeof(int));
  assert(t!=NULL);
  int x=1;
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    *ptr=x;
    x*=2;
  }
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  }
  puts("_____________________________________");
  int *t2=realloc(t,10*sizeof(int));
  assert(t2!=NULL);
  for(int *ptr=t2+5;ptr<t2+10;++ptr){
    *ptr=x;
    x*=2;
  }
  for(int *ptr=t2;ptr<t2+10;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  }
  free(t2);
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

```c
//realloc2.c
//--->Ici, il y a des chances que la zone soit déplacée !
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
#include <assert.h>

int main(){
  int *t=malloc(5*sizeof(int));
  assert(t!=NULL);
  int x=1;
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    *ptr=x;
    x*=2;
  }
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  }
  int *tab=malloc(t,100*sizeof(int));
  puts("_____________________________");
  int *t2=realloc(t,10*sizeof(int));
  assert(t2!=NULL);
  for(int *ptr=t2+5;ptr<t2+10;++ptr){
    *ptr=x;
    x*=2;
  }
  for(int *ptr=t2;ptr<t2+10;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  }
  free(t2);
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

Copier des zones mémoire

- On peut copier des zones mémoire, et on a deux fonctions (elle sont dans) :
  - `void memmove(void dst, const void src,sizet len)`
  - `void memcpy(void dst, const void src,sizet len)`
- Elles copie toutes les deux `len` octets de `src` vers `dst`
- Les deux zones pointées doivent être allouées et de la bonne taille (inférieure ou égale à `len`)
- Elles renvoient toutes les deux `dst`
- Différence :
  - Pour `memcpy` , les deux zones pointées par `dst` et `src` ne doivent pas se chevaucher !

```c
//copy.c
// t et t2 pointet bien vers des zones différentes !!
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
#include <assert.h>
#include <string.h>

int main(){
  int *t=malloc(5*sizeof(int));
  assert(t!=NULL);
  int x=1;
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    *ptr=x;
    x*=2;
  }
  int *t2=malloc(5*sizeof(int));
  for(int *ptr=t2;ptr<t2+5;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  }
  puts("----------------------------");
  memcpy(t2,t,5*sizeof(int));
  for(int *ptr=t2;ptr<t2+5;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  }
  free(t);
  free(t2);
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

Décaler les cases d'un tableau

- On veut décaler les cases d'un 'tableau' d'une case vers la droite
- Et la première case prend la valeur de la dernière case

```
void  shift(int *t,size_t l){
  assert(l>1);
  int tmp=*(t+l-1);
  memmove(t+1,t,(l-1)*sizeof(int));
  *t=tmp;
}
```

- Ici les deux zone pointées par t+1 et t se chevauchent
- On utilise donc memmove

```c
//shift.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>
#include <assert.h>
#include <string.h>

void shift(int *,size_t);

int main(){
  int *t=malloc(5*sizeof(int));
  assert(t!=NULL);
  int x=1;
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    *ptr=x;
    x*=2;
  }
  shift(t,5);
  for(int *ptr=t;ptr<t+5;++ptr){
    printf("Adresse : %p Donnee : %d\n",ptr,*ptr);
  };
  return EXIT_SUCCESS;
}

void  shift(int *t,size_t l){
  assert(l>=1);
  int tmp=*(t+l-1);
  memmove(t+1,t,(l-1)*sizeof(int));
  *t=tmp;
}
```

++exemple

- On veut programmer une pile d'entiers à l'aide de tableaux
- Pour cela on va se servir de la structure suivante :

```
struct pile{
  size_t pos;
  size_t taille;
  int *data;
};
typedef struct pile pile;
```

```c
struct pile{
  size_t pos;
  size_t taille;
  int *data;
};
typedef struct pile pile;
```

- pos indique la position où empiler et taille la taille du tableau
- On va vouloir faire des fonctions pour intialiser la pile, empiler, dépiler et libérer l'espace qu'elle occupe
- Si on empile trop de données, il faudra faire croire la taille du tableau

Initialisation

```
struct pile{
  size_t pos;
  size_t taille;
  int *data;
};
```

```c
typedef struct pile pile;
pile *init_pile(pile *p){
  if(p==NULL){
    return NULL;
  }else{
    p->pos=0;
    p->taille=10;
    p->data=malloc(10*sizeof(int));
    if(p->data==NULL){
      return NULL ;
    }
  }
  return p;
}
```

pile.c

Pop and push

```
void push(pile *p,int d){
  if(p->pos>=p->taille){
     p->taille+=10;
     p->data=realloc(p->data,(p->taille)*sizeof(int));
     assert(p->data!=NULL);
  }
  *((p->data)+(p->pos))=d;
  ++(p->pos);
}
```

```c
int *pop(pile *p,int *d){
  if(p->pos==0){
    return NULL;
  }else{
    *d=*((p->data)+(p->pos)-1);
    (p->pos)-=1;
    return d;
  }
}
```

pile.c