

# Structures de données

---

Semestre 4



---

# Avant-propos

---

Suite du module d’algorithmique et programmation, accent sur les structures de données

- Pile
- File
- Arbre
- ...

## Heures

- 24h de CTDI
- 26 de TDM

## Notation

**Contrôle intermédiaire** 30%

**Contrôle terminal** 50%

**TP** 20%

**TP Noté** 50%

**Devoir écrit** 25%

**Devoir TP** 25 %

---

# Table des matières

---

<b>1</b>	<b>Types de données Abstraits (TAD)</b>	<b>5</b>
1.1	Syntaxe des TAD . . . . .	5
1.2	Implémentation d'un TAD . . . . .	6
1.3	Protection du TAD . . . . .	9
<b>A</b>	<b>Cours sur les pointeurs en C</b>	<b>11</b>
A.1	Syntaxe . . . . .	11
A.2	Opérateur autorisés sur les pointeurs . . . . .	11
<b>B</b>	<b>Exemple de structure de données linéaires dynamiques</b>	<b>14</b>
B.1	Pile . . . . .	14
B.2	File . . . . .	14
B.3	Pile avec liste doublement chaînée . . . . .	15
B.4	File avec liste doublement chaîné . . . . .	15
<b>C</b>	<b>Liste des codes sources</b>	<b>16</b>
<b>D</b>	<b>Table des figures</b>	<b>17</b>
<b>E</b>	<b>Exercices</b>	<b>18</b>
E.1	TAD . . . . .	18
E.2	Pointeurs . . . . .	22

# Types de données Abstraits (TAD)

C'est une méthode de spécification de structures de données (SD).

C'est utile pour la programmation « En large », c'est-à-dire à plusieurs, pour cela nous sommes obligés de travailler sur la communication et l'échange sur le code produit, on utilise pour cela les **spécifications** :

- Les Entrées Sorties du programme <sup>1</sup>
- Les données <sup>2</sup>

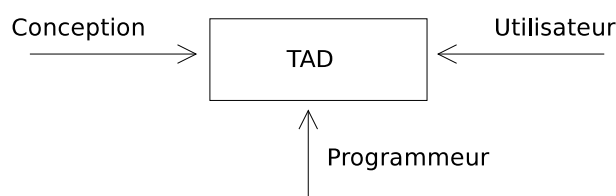


FIGURE 1.1 – Principe de base d'un TAD

**Ex Les entiers**

**Utilisateur : Représentation Interne** 1, 2, 3, +, -, /, +, %

**Programmeur : Représentation Externe** Entiers « machine » 0000 0011  
pour le 3

## 1.1 Syntaxe des TAD

La syntaxe d'un TAD est répartie en deux étapes :

**La signature du TAD** <sup>3</sup> Donner les interfaces de la données

**La sémantique abstraite du TAD** <sup>4</sup> Décrire logiquement le fonctionnement de la données.

Une donnée c'est une ou un ensemble de valeurs mais aussi les opérations qui permettent de la manipuler. Cette étape nous donne :

- Les limitations de la donnée (préconditions)
- Les descriptions longueurs du fonctionnement de chaque opération

1. Vu au S3

2. Nous nous occuperons de cette partie

### 1.1.1 Signature du TAD Pile

Une pile est une structure de données qui permet de rassembler des éléments de telle sorte que le dernier élément entré dans la pile soit le premier à en sortir.<sup>5</sup>.

#### Signature de base

Sorte Pile

Utilise Élément, Booleen

#### Opérations

**creer**  $\rightarrow$  Pile

**empiler** Pile  $\times$  Element  $\rightarrow$  Pile

**estVide** Pile  $\rightarrow$  Booleen

**sommet** Pile  $\rightarrow$  Pile

**appartient** Pile  $\times$  Element  $\rightarrow$  Booleen

#### Signature étendue

##### Préconditions

–  $\text{sommet}(p) \Leftrightarrow \neg \text{estVide}(p)$

##### Axiones

Avant toute chose, on partitionne l'ensemble des opérations en deux sous ensembles :

- Les constructeurs
- Les opérateurs

L'ensemble des constructeurs est nécessaire et suffisant pour pouvoir gagner n'importe quelle valeur de la donnée

```
// On applique chaque constructeur à chaque opérateur et on décrit logiquement
// ce qu'il se passe
estVide(creer()) = true;
estVide(empiler(p, x)) = false;
depiler(creer()) = creer();
depiler(empiler(p, x)) = p;
sommet(empiler(p, x)) = x;
appartient(creer(), x) = false;
appartient(empiler(p, x), y) = (x = y)  $\vee$  appartient(p, y)
```

Listing 1.1 – Opérations du TAD Pile

## 1.2 Implémentation d'un TAD

1. Implémenter la structure de données
2. Implémenter les opérateurs
3. Séparer l'interface du corps des opérations

**But 1** Permet de modifier les opérations sans remettre en cause la manière d'utiliser le TAD

**But 2** Protéger les données

---

5. Last In First Out

## 1.2.1 Implémentation de la structure de données et des opérateurs

Trouver une représentation interne de la structure de données, celle-ci est contrainte par le langage choisi.

Celle-ci peut être statique ou dynamique<sup>6</sup>.

**Statique** La donnée ne peut plus changer de place ni de taille mémoire ou dynamique.

- Problème de gaspillage de place
- Avantage de l'efficacité

**Dynamique** La donnée peut changer de taille ou de place pendant l'exécution du programme.

- Pas de gaspillage de place
- Inconvénient de l'efficacité

### 1.2.1.1 Implémentation statique du TAD Pile

- Utilisation d'un tableau
- Utilisation d'un entier donnant le nombre d'éléments rangés dans la pile

```

1  #define N 1000
2
3  struct eltPile {
4      Element Tab[N];
5      int nb;
6  } Pile;
7
8  Pile creer() {
9      Pile p;
10     p.nb = 0;
11
12     return p;
13 }
14
15 Pile empiler(Pile p, Element x) {
16     assert(p.nb < N); // Si la condition est false alors arrête programme
17     p.tab[p.nb] = x;
18     p.nb++;
19
20     return (p);
21 }
22
23 int estVide(Pile p) {
24     return (p.nb == 0);
25 }
26
27 Pile depiler(Pile p) {
28     if(!estVide(p)) {
29         p.nb--;
30     }
31
32     return p;
33 }
34
35 Element sommet(Pile p) {
36     assert(!estVide(p)); // Pas indispensable masi plus robuste
37     return (p.tab[p.nb-1]);

```

6. Des exemples de structures de données dynamiques du TAD sont disponibles annexes ??

```

38 }
39
40 int appartient(Pile p, Element x) {
41     if(estVide(p))
42         return 0;
43
44     if(x == sommet(p)) {
45         return 1;
46     }
47
48     return (appartient(depiler(p), x));
49 }

```

Listing 1.2 – Implémentation des fonctions du type Pile en statique

### 1.2.1.2 Implémentation dynamique du TAD Pile

```

1  typedef struct etCel {
2      Element val;
3      struct etCel* suiv;
4  } Cel;
5
6  typedef cel* Pile;
7
8  Pile creer() {
9      return NULL;
10 }
11
12 Pile empiler(Pile p, Element x) {
13     Pile pAux;
14     pAux = (pile)malloc(sizeof(Cel));
15     assert(pAux != NULL);
16     pAux->val = x;
17     pAux->suiv = p;
18
19     return (pAux);
20 }
21
22 int estVide(Pile p) {
23     return (p == NULL);
24 }
25
26 Pile depiler(Pile p) {
27     Pile pAux = NULL;
28     if(p != NULL) {
29         pAux = p->suivant;
30         free(p);
31     }
32
33     return pAux;
34 }
35
36 Element sommet(Pile p) {
37     return (p->val);
38 }
39
40 int appartient(Pile p, Element x) {
41     if(estVide(p))
42         return 0;
43

```



```

44 while(!estVide(p)) {
45     if(p->suiv == x)
46         return 1;
47
48     p = p->suiv;
49 }
50
51 return 0;
52 }

```

Listing 1.3 – Implémentation des fonctions du type Pile en dynamique

## 1.3 Protection du TAD

La protection d'un TAD se fait en deux phases :

**séparer corps - interface** Bibliothèque

Protéger le type

### 1.3.1 Séparation du corps et de l'interface

Cela correspond à une bibliothèque, ainsi nous allons séparer le fichier source en trois fichiers :

#### 1.3.1.1 Fichiers

**fichier.h** Contient les prototypes de fonctions et les **typedef**.

**fichier.c** Contient **#include "fichier.h"** et les implémentations de fonctions sauf le main.

**testFichier.c** Contient **#include "fichier.h"** et le **main**.

#### 1.3.1.2 Compilation

- gcc -c fichier.c
- gcc -c testFichier.c
- gcc fichier.o testfichier.o -o nomExe

### 1.3.2 Protection du type

Nous allons étudier le cas de la pile statique.

```

#define N 1000
typedef struct etPile {
    element tab[N];
    int nb;
} Pile;

```

Listing 1.4 – Type de la pile statique originel – Présent dans le .h

Nous allons devoir cacher ce type afin que l'utilisateur ne le modifie pour cela, il sera caché dans le .c et un pointeur présent dans le .h.

```
typedef struct etPile* pile;
```

Listing 1.5 – Type de la pile statique – Présent dans le .h

```
#define N 1000
typedef struct etPile {
    element tab[N];
    int nb;
}Pile;
```

Listing 1.6 – Type de la pile statique – Présent dans le .c

Nous devons ainsi modifier le fichier source afin d'utiliser le pointeur sur pile.

```
Pile p;
p = (Pile)malloc(sizeof(PileInterne));
p->nb = 0

return p;
```

Listing 1.7 – Modification de la fonction `creer` s'adaptant à la protection de données

**R** Désormais nous ferons systématiquement la séparation corps - interface et la protection du type.

---

# Cours sur les pointeurs en C

---

Déjà vu par le passages de paramètres.

## A.1 Syntaxe

### A.1.1 Déclaration

```
typePointé* nomPointeur
```

Listing A.1 – Syntaxe de déclaration d'un pointeur

```
| int n; // n correspond à un entier  
| int *ptr; // ptr correspond à l'adresse d'un entier
```

Listing A.2 – Exemple de déclaration

### A.1.2 Utilisation

```
nomPointeur // manipule l'adresse  
*nomPointeur //manipule la zone pointée
```

Listing A.3 – Syntaxe utilisation d'un pointeur

```
pe=&n; //opérateur d'adressage
```

Listing A.4 – Exemple d'utilisation d'un pointeur

### A.1.3 Constante

NULL représente une adresse inexistante.

```
pe = NULL;  
*pe; // Erreur à l'exécution
```

Listing A.5 – Exemple d'utilisation de la constante NULL

## A.2 Opérateur autorisés sur les pointeurs

### A.2.1 L'affectation

```
nomPointeur = expression correspondant à une adresse ou à NULL
```

## A.2.2 Addition et la soustraction entre un pointeur et un entier

```
nomPointeur = nomPointeur + 10;  
nomPointeur = nomPointeur - 15;
```

On obtient une expression correspondant à une adresse

```
pe = pe+10; //pe contient l'adresse du 10e entier après la valeur initiale de pe.
```

 À utiliser que si pe pointe sur un tableau

## A.2.3 Soustraction de deux pointeurs

Renvoie un entier donnant le nombre d'éléments pointés entre les deux pointeurs

 Uniquement si les deux pointeurs sont sur le même tableau

## A.2.4 Comparaison sur des pointeurs

Ce sont les opérateurs de comparaison classique : `=` et `!=`

## A.2.5 Allocation dynamique de mémoire

```
nomPointeur = (typePointeur) malloc(sizeof(typePointé));  
nomPointeur = (typePointé*) malloc(n*sizeof(typePointé));
```

Listing A.6 – Syntaxe d'allocation dynamique

```
int *e;  
pe = (int*) malloc(sizeof(int));
```

Listing A.7 – Exemple d'allocation dynamique

1. Le programme demande au gestionnaire mémoire d'avoir une place de la taille `sizeof(int)`
2. Si la place est disponible retourne l'adresse demandée ou la première case du «tableau» dynamique
3. Sinon retourne NULL


## A.2.6 Libération dynamique de mémoire

```
free(nomPointeur);
```

Listing A.8 – Syntaxe de libération de mémoire

1. Le programme contact le gestionnaire mémoire
2. Le gestionnaire mémoire «libère» la place

Cela veut dire que la place n'est plus réservé au programme, elle pourra être alloué à un autre programme.

 Le gestionnaire de mémoire ne met pas à jour la case mémoire, celle-ci contient toujours la valeur, si personne ne récupère la case, il sera toujours possible d'accéder à la donnée. C'est donc aléatoire, c'est une source d'erreurs.

# Exemple de structure de données linéaires dynamiques

## B.1 Pile

Liste simplement chaînée dynamique à un point d'entrée

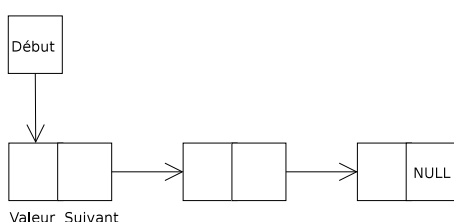


FIGURE B.1 – Pile avec une liste simplement chaînée

```
typedef struct etCel {
    Element val;
    struct etCel *suiv;
} CelSc;
```

Listing B.1 – Structure `CelSc` – Pile avec liste simplement chaînée

## B.2 File

Liste simplement chaînée à deux points d'entrée

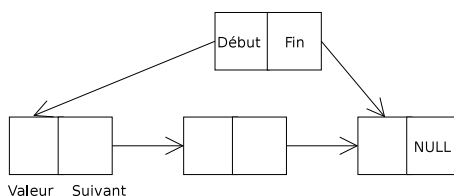


FIGURE B.2 – File avec une liste simplement chaînée

```
typedef struct etCel2 {
    LSC fin;
    LSC debut;
} LSC2;
```

Listing B.2 – Structure `LSC2` – File avec liste simplement chaînée

## B.3 Pile avec liste doublement chaînée

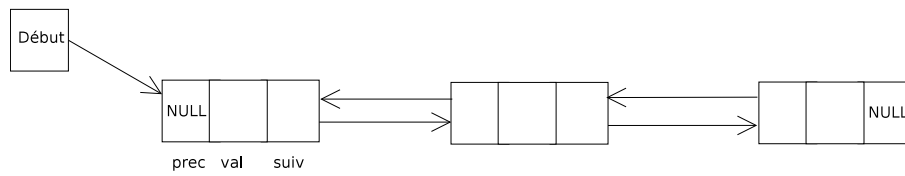


FIGURE B.3 – Pile avec une liste doublement chaînée

```
typedef struct etCelDC {
    Element val;
    struct etCelDC* suiv;
    struct etCelDC* precedent;
} CelDC;
typedef celDC* LDC;
```

Listing B.3 – Structure CelDC – Pile avec liste doublement chaînée

## B.4 File avec liste doublement chaîné

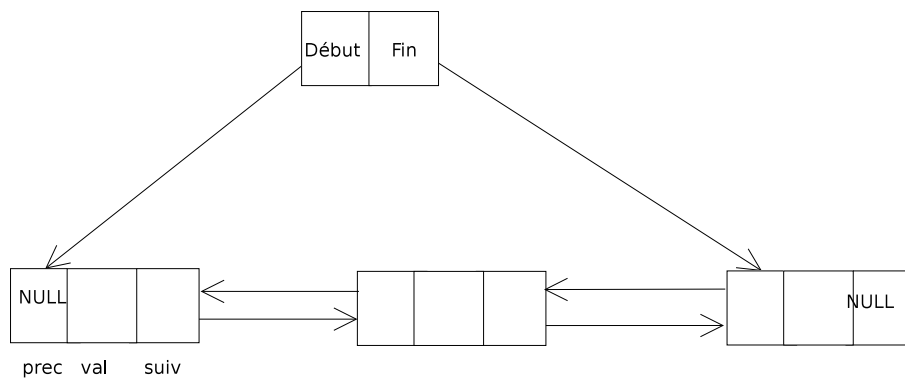


FIGURE B.4 – File avec une liste doublement chaînée

---

## Liste des codes sources

---

1.1	Opérations du TAD Pile . . . . .	6
1.2	Implémentation des fonctions du type Pile en statique . . . . .	7
1.3	Implémentation des fonctions du type Pile en dynamique . . . . .	8
1.4	Type de la pile statique originel – Présent dans le .h . . . . .	9
1.5	Type de la pile statique – Présent dans le .h . . . . .	10
1.6	Type de la pile statique – Présent dans le .c . . . . .	10
1.7	Modification de la fonction <code>creer</code> s'adaptant à la protection de données . . . . .	10
A.1	Syntaxe de déclaration d'un pointeur . . . . .	11
A.2	Exemple de déclaration . . . . .	11
A.3	Syntaxe utilisation d'un pointeur . . . . .	11
A.4	Exemple d'utilisation d'un pointeur . . . . .	11
A.5	Exemple d'utilisation de la constante <code>NULL</code> . . . . .	11
A.6	Syntaxe d'allocation dynamique . . . . .	12
A.7	Exemple d'allocation dynamique . . . . .	12
A.8	Syntaxe de libération de mémoire . . . . .	13
B.1	Structure <code>Ce1Sc</code> – Pile avec liste simplement chaînée . . . . .	14
B.2	Structure <code>LSC2</code> – File avec liste simplement chaînée . . . . .	14
B.3	Structure <code>Ce1DC</code> – Pile avec liste doublement chaînée . . . . .	15
E.1	TAD Pile . . . . .	18
E.2	Pointeurs – Exercice 1 . . . . .	19
E.3	Pointeurs – Exercice 2 . . . . .	19
E.4	Pointeurs – Exercice 3 . . . . .	20
E.5	pointeurs – Exercice 4 . . . . .	20



---

## Table des figures

---

1.1	Principe de base d'un TAD . . . . .	5
B.1	Pile avec une liste simplement chaînée . . . . .	14
B.2	File avec une liste simplement chaînée . . . . .	14
B.3	Pile avec une liste doublement chaînée . . . . .	15
B.4	File avec une liste doublement chaînée . . . . .	15

# Exercices

## E.1 TAD

### E.1.1 Suite du TAD Pile

1. Implémenter la fonction permettant de remplacer toute les occurrences de l'élément  $x$  par l'élément  $y$  dans la pile.
2. Implémenter la fonction d'affichage de la Pile.
3. Réécrire les méthode de la pile statique pour prendre en compte la protection du type

**Rajouter dans le champ des opérations**  $\text{remplacerOccurence Pile} \times \text{Element} \times \text{Element} \rightarrow \text{Pile}$

**Préconditions** rien

**Axiones**

```

1 | remplacerOccurence(creer(), x, y) = creer();
2 | remplacerOccurence(empiler(p, x), x1, x2) =
3 |   p1  $\wedge \forall z$  (appartient(p1, z)  $\rightarrow$  (z  $\neq$  x1) (empiler(p, x), z')  $\wedge$  z' = x1))

1 | Pile remplacer(Pile pPile, Element pX, Element pY) {
2 |   int i;
3 |   for(i=0 ; i < p.nb ; ++i) {
4 |     if(p.tab[i] == x) {
5 |       p.tab[i] = y;
6 |     }
7 |   }
8 |
9 |   return p;
10 | }

11 |
12 | void afficherPile(Pile pPile) {
13 |   int i;
14 |   for(i=0 ; i < p.nb; ++i) {
15 |     afficheElement(p.tab[i]);
16 |   }
17 | }
```

Listing E.1 – TAD Pile

### E.1.2 TAD File

**Sorte** File

Utilise Element, booleen

### Constructeurs

**creer**  $\rightarrow$  File

**enfiler** File  $\times$  Element  $\rightarrow$  File

Projecteurs **estVide** file  $\rightarrow$  Booleen

**appartient** file  $\times$  Element  $\rightarrow$  Booleen

**defiler** file  $\rightarrow$  file

**premier** file  $\rightarrow$  Element

**dernier** file  $\rightarrow$  Element

### Précondition

**premier** premier(f)  $\Leftrightarrow \neg$ estVide(f)

**dernier** dernier(f)  $\Leftrightarrow \neg$ estVide(f)

### Axiones

```
estVide(creer()) = true;
estVide(enfiler(f,x)) = false;
appartient(creer(), x) = false;
appartient(enfiler(f,x),y) = (x = y)  $\vee$  appartient(f,y)
defiler(creer()) = creer()
defiler(enfiler(f,x) = creer() si estVide(f)
              = enfiler(defiler(f), x) sinon
premier(enfiler(f,x)) = premier(f) si !estVide
              = x sinon
dernier(enfiler(f,x)) = x
```

Listing E.2 – Axiones du TAD File

#### E.1.2.1 Statique

```
1 #include "element.h"
2
3 typedef struct etFile* File ;
4 File creer();
5 File enfiler(File pFile, Element pElement);
6 File defiler(File pFile);
7 int appartient(File pFile, Elment pElement);
8 Element premier(File pFile);
9 Element dernier(File pFile);
10 int estPleine(File pFile);
```

Listing E.3 – TAD File dynamique Headers

```
1 #include <stdlib.h>
2 #include <stdio.h>
3 #include <assert.h>
4 #include "file.h"
5
6 #define N 1000
7
8 struct eltFile {
9     Element Tab[N];
10     int nb;
11     int tete; // Buffer en rond
12 } FileInterne;
```

```
13
14 File creer() {
15     File f;
16     f = (File) malloc(sizeof(FileInterne));
17     assert(f != NULL);
18     f->nb = 0;
19     f->tete = 0;
20
21     return f;
22 }
23
24 File enfile(File pFile, Element pElement) {
25     assert(!estPleine(pFile));
26     pFile->tab[(f->n+f->tete)%N] = pElement;
27     ++f->nb;
28     return pFile;
29 }
30
31 int estPleine(File pFile) {
32     return (pFile->nb == N);
33 }
34
35 int estVide(File pFile) {
36     return (pFile->nb == 0);
37 }
38
39 File defiler(File pFile) {
40     if(!estVide(f)) {
41         pFile->nb--;
42         f->tete = (f->tete+1)%N;
43     }
44
45     return pFile;
46 }
47
48 int appartient(File pFile, Elment pElement) {
49     int i;
50     for( i=0 ; i < f->nb ; ++i ) {
51         if(x == f->tab[(i+f->tete)%N])
52             return 1;
53     }
54
55     return 0;
56 }
57
58
59 Element premier(File pFile) {
60     return (pFile->tab[pFile->tete]);
61 }
62
63 Element dernier(File pFile) {
64     return (pFile->tab[(f->tete+f->nb-1)%N]);
65 }
66 }
```

Listing E.4 – TAD File dynamique Implémentation

### E.1.2.2 Dynamique

```
1 #include "element.h"
2
```

```

3 typedef struct etFile* File;
4 File creer();
5 File enfile(File pFile, Element pElement);
6 File defiler(File pFile);
7 int appartient(File pFile, Elment pElement);
8 Element premier(File pFile);
9 Element dernier(File pFile);
10 int estPleine(File pFile);

```

Listing E.5 – TAD File dynamique Headers

```

1 typedef struct etCell {
2     struct etCell* suivant;
3     Element elem;
4 } Cell;
5
6 typedef struct etFile {
7     Cell* premier;
8     Cell* dernier;
9 } FileInterne;
10
11
12 File creer() {
13     File f;
14     f = (File) malloc(sizeof(FileInterne));
15     assert(f != NULL);
16     f->premier = NULL;
17     f->dernier = NULL;
18
19     return f;
20 }
21
22 File enfile(File pFile, Element pElement) {
23     Cell* c;
24     c = (Cell*) malloc(sizeof(Cell));
25     assert(c != NULL);
26     c->elem = pElement;
27     c->suivant = NULL;
28     if(!estVide(pFile)) {
29         pFile->dernier->suivant = c;
30     } else {
31         pFile->premier = c;
32     }
33     pFile->dernier = c;
34
35     return pFile;
36 }
37
38 int estPleine(File pFile) {
39     return (false);
40 }
41
42 int estVide(File pFile) {
43     return (pFile->premier == NULL);
44 }
45
46 File defiler(File pFile) {
47     // TODO
48 }
49
50 int appartient(File pFile, Elment pElement) {
51     // TODO
52 }

```

```

53 |
54 | Element premier(File pFile) {
55 |     return (pFile->premier->elem);
56 | }
57 |
58 | Element dernier(File pFile) {
59 |     return (pFile->dernier->elem);
60 | }
61 | }

```

Listing E.6 – TAD File dynamique Implémentation

## E.2 Pointeurs

### E.2.1 Exercice 1

```

1 | int *p, *q; // 1
2 | p = NULL; // 2
3 | q = p; //3
4 | p = (int*)(malloc(sizeof(int))); // 4
5 | q = p; // 5
6 | q = (int*)malloc(sizeof(int)) // 6
7 | free(p);
8 | *q = 10;

```

Listing E.7 – Pointeurs – Exercice 1

1		2		3		4		5		6		7		8	
										@2		@2		@2	10
p		p	NULL	p	NULL	p	@1	p	@1	p	@1	p	@1	p	@1
q		q		q	NULL	q	NULL	q	@2	q	@2	q	@2	q	@2
						@1						@1		@1	

### E.2.2 Exercice 2

```

1 | typedef int Zone;
2 | typedef Zone *Ptr;
3 |
4 | void miseAJour(Ptr p, Zone v) {
5 |     *p = v;
6 | }
7 |
8 | int main(void) {
9 |     Ptr p; // 1
10 |    p = (Ptr) malloc(sizeof(Zone)); //2
11 |
12 |    if(p != NULL)
13 |        miseAJour(p, 10); // 3
14 | }

```

Listing E.8 – Pointeurs – Exercice 2

1	2 malloc OK		2 malloc non OK		3 malloc OK		3 malloc non OK	
p	p	@1	p	NULL	p	@1	p	NULL
	@1				@1	10		

**R** Dans le du malloc qui ne marche pas, ce que contient la mémoire est inconnu, si on accède à \*p nous aurons une segmentation fault. Ainsi on rajoute un test

### E.2.3 Exercice 3

```

1 typedef struct etCell {
2     int val;
3     int* suiv;
4 } Cel
5
6 typedef Cel* Ptr;
7
8 int main(void) {
9     Cel c; //1
10    c.val = 10; //2
11    c.suiv = (int*) malloc(sizeof(int)); //3
12    *(c.suiv) = 11; //4
13 }
```

Listing E.9 – Pointeurs – Exercice 3

1	2	3	4
c.val	c.val	c.val	c.val
c.suiv	c.suiv	c.suiv	c.suiv
	10	10	10
		@1	@1
		@1	11

### E.2.4 Exercice 4 – Même exercice avec une autre valeur

```

1 typedef struct etCell {
2     int val;
3     struct etCell* suiv;
4 } Cel
5
6 typedef Cel* Ptr;
7
8 int main(void) {
9     Cel c; //1
10    c.val = 10; //2
11    c.suiv = (Ptr) malloc(sizeof(Cel)); //3
12    (*(c.suiv)).val = 11;
13    (*(c.suiv)).suiv = (Ptr) malloc(sizeof(Cel));
14    c.suiv->suiv->val = 12; // Ou ((*c.suiv).suiv).val = 12;
```

15 | }

Listing E.10 – pointeurs – Exercice 4