

ISIMA PREMIÈRE ANNÉE

COMPTE-RENDU DE TP
STRUCTURES DE DONNÉES

Dérécursivation à l'aide d'une pile

Benjamin BARBESANGE
Pierre-Loup PISSAVY
Groupe G21

Enseignant :
Michelle CHABROL

mars 2015



Table des matières

1	Présentation	2
1.1	Structure de données employée	2
1.2	Organisation du code source	3
1.2.1	Gestion de la pile	3
1.2.2	Fonction récursive	3
1.2.3	Programme principal	3
2	Détails du programme	4
2.1	Gestion de la pile	4
2.2	Fonction récursive	8
2.3	Programme principal	10
3	Principes et lexiques des fonctions	12
3.1	Gestion de la pile	12
3.1.1	init	12
3.1.2	supp	13
3.1.3	empty	13
3.1.4	full	13
3.1.5	pop	13
3.1.6	top	13
3.1.7	push	14
3.2	Dérécursivation de la fonction	14
3.2.1	TRUC	14
3.2.2	truc_iter	17
4	Compte rendu d'exécution	18
4.1	Makefile	18
4.2	Jeux de tests	18
4.2.1	Fichier de tests	18
4.2.2	Tests de la pile	20
4.2.3	Bonne utilisation de la mémoire	22

1 | Présentation

Le but de ce TP est de dérécurser une fonction à l'aide d'une pile. Les fonctions de gestion d'une pile seront ainsi créées.

Les opérations suivantes sont permises avec la pile :

- Initialiser la pile,
- Libérer la pile,
- Tester si la pile est vide,
- Tester si la pile est pleine,
- Retourner l'élément en haut de la pile,
- Afficher l'élément en haut de la pile,
- Insérer un élément dans la pile.

1.1 Structure de données employée

Les données seront stockées dans une liste contiguë à accès indirect en tête. La taille et le pointeur sur cette liste ainsi que l'indice de l'élément en tête de pile sont stockés dans la structure représentée en figure 1.1.

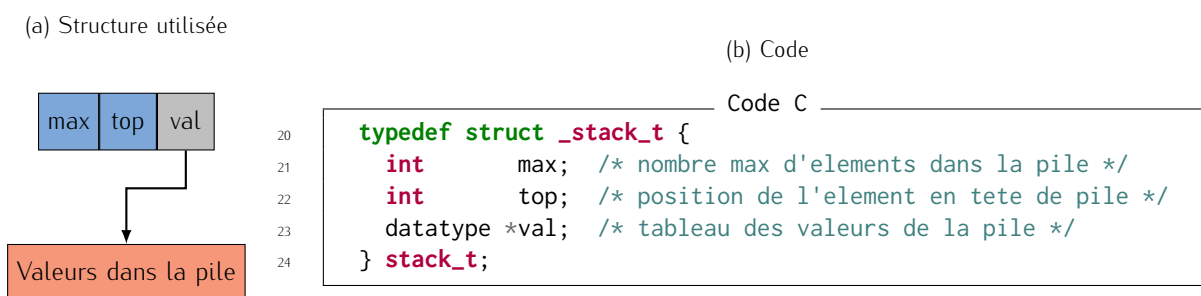


FIGURE 1.1 – Structure de pile et code correspondant

1.2 Organisation du code source

Nous avons défini deux modules, le premier contient une fonction sous forme récursive ainsi que sa version sous forme itérative. Nous disposons également d'un module permettant de gérer une pile, qui est ainsi utilisé lors de la dérécursivation de la fonction.

1.2.1 Gestion de la pile

- `src/stack.h`
- `src/stack.c`

1.2.2 Fonction récursive

- `src/truc.h`
- `src/truc.c`

1.2.3 Programme principal

- `src/main.c`

2 | Détails du programme

2.1 Gestion de la pile

Code C

```
1  /* stack.h
2  Header
3
4  -----| DERECURSIVATION DE FONCTION PAR PILE |-----
5
6  BARBESANGE Benjamin,
7  PISSAVY Pierre-Loup
8
9  ISIMA 1ere Annee, 2014-2015
10 */
11
12 #ifndef __STACK__H
13 #define __STACK__H
14
15 #include <stdio.h>
16 #include <stdlib.h>
17
18 typedef int datatype; /* permet d'utiliser des types differents avec la pile */
19
20 typedef struct _stack_t {
21     int max; /* nombre max d'elements dans la pile */
22     int top; /* position de l'element en tete de pile */
23     datatype *val; /* tableau des valeurs de la pile */
24 } stack_t;
25
26 int init(stack_t *,int);
27 void supp(stack_t *);
28 int empty(stack_t);
29 int full(stack_t);
30 int pop(stack_t *, datatype *);
31 int top(stack_t *, datatype *);
32 int push(stack_t *, datatype);
33
34 #endif
```

```

1  /* stack.c
2  Fonctions de gestion de la structure de pile
3
4  -----| DERECURSIVATION DE FONCTION PAR PILE |-----
5
6  BARBESANGE Benjamin,
7  PISSAVY Pierre-Loup
8
9  ISIMA 1ere Annee, 2014-2015
10 */
11 #include "stack.h"
12
13 /* int init(stack_t *p, int n)
14 Fonction d'initialisation de la pile avec une taille max
15
16 Entrees :
17     *p : pointeur sur la pile
18     n : taille maximum de la pile
19
20 Sortie :
21     int : code d'erreur
22         1 si aucune erreur
23         0 si erreur de creation de la pile
24 */
25 int init(stack_t *p, int n) {
26     int ret = 1;
27     p->max = n;
28     p->top = -1;
29     p->val = (datatype*) malloc(n*sizeof(datatype));
30     if (p->val == NULL) {
31         ret = 0;
32     }
33     return ret;
34 }
35
36 /* void supp(stack_t *p)
37 Fonction de suppression de la pile
38
39 Entree :
40     *p : pointeur sur la tete de la pile
41
42 Sortie :
43     Aucune
44 */
45 void supp(stack_t *p) {
46     free(p->val);
47     p->top = -1; /* Empeche de depiler */
48     p->max = 0; /* Empeche d'empiler */
49 }
50
51 /* int empty(stack_t *p)
52 Teste si la pile est vide ou non
53
54 Entree :
55     p : tete de la pile

```

```

56
57     Sortie :
58         int : booleen
59             0 si la pile n'est pas vide
60             1 si la pile est vide
61 */
62 int empty(stack_t p) {
63     return (p.top == -1)?1:0;
64 }
65
66 /* int full(stack_t p)
67 Teste si la pile est pleine ou non
68
69 Entree :
70     p : tete de la pile
71
72 Sortie :
73     int : booleen
74         0 si la pile n'est pas pleine
75         1 si la pile est pleine
76 */
77 int full(stack_t p) {
78     return (p.top == p.max-1)?1:0;
79 }
80
81 /* int pop(stack_t *p, datatype *v)
82 Recupere le premier element de la pile (et l'enleve) et retourne un code d'erreur
83
84 Entree :
85     *p : pointeur sur la tete de la pile
86     *v : pointeur sur un element du type de la pile, variable en I/O
87
88 Sortie :
89     int : code d'erreur
90         0 si rien n'est retourne dans la variable v
91         1 si on a recupere l'element en tete
92 */
93 int pop(stack_t *p, datatype *v) {
94     int ok = 0;
95     if (!empty(*p)) {
96         *v = p->val[p->top];
97         ok = 1;
98         p->top--;
99     }
100     return ok;
101 }
102
103 /* int top(stack_t *p, datatype *v)
104 Retourne l'element en tete de la pile (sans l'enlever) et retourne un code d'erreur
105
106 Entree :
107     *p : pointeur sur la tete de la pile
108     *v : pointeur sur un element du type de la pile, variable en I/O
109
110 Sortie :
111     int : code d'erreur

```

```

112     0 si rien n'est retourne
113     1 si on recupere l'element en tete
114 */
115 int top(stack_t *p, datatype *v) {
116     int ok = 0;
117     if (!empty(*p)) {
118         *v = p->val[p->top];
119         ok = 1;
120     }
121     return ok;
122 }
123
124 /* int push(stack_t *p, datatype v)
125 Insere un element en tete de la pile
126
127 Entree :
128     *p : pointeur sur la tete de la pile
129     v : element a inserer dans la pile
130
131 Sortie :
132     int : code d'erreur
133         0 si l'element n'est pas ajoute dans la pile
134         1 si l'element est ajoute dans la pile
135 */
136 int push(stack_t *p, datatype v) {
137     int ok = 0;
138     if (!full(*p)) {
139         p->top++;
140         p->val[p->top] = v;
141         ok = 1;
142     }
143     return ok;
144 }

```


2.2 Fonction récursive

Code C

```
1  /* truc.h
2  Header
3
4  -----| DERECURSIVATION DE FONCTION PAR PILE |-----
5
6  BARBESANGE Benjamin,
7  PISSAVY Pierre-Loup
8
9  ISIMA 1ere Annee, 2014-2015
10 */
11 #ifndef __TRUC__H
12 #define __TRUC__H
13     #include <stdio.h>
14     #include <stdlib.h>
15     #define N 10
16     int TRUC(int, int);
17     int truc_iter(int, int);
18 #endif
```

Code C

```
1  /* truc.c
2  Fonction recursive et son equivalent en iteratif
3
4  -----| DERECURSIVATION DE FONCTION PAR PILE |-----
5
6  BARBESANGE Benjamin,
7  PISSAVY Pierre-Loup
8
9  ISIMA 1ere Annee, 2014-2015
10 */
11
12 #include "truc.h"
13 #include "stack.h"
14
15 /* tableau des valeurs pour la decomposition, premiere valeur inutile */
16 int P[N+1] = {0,1,3,2,4,5,2,7,1,9,1};
17
18 /* int TRUC(int S, int I)
19  Fonction sous forme recursive qui affiche la decomposition de
20  S a partir d'un tableau d'entiers (defini ici en statique)
21
22  Entrees :
23      int S : Nombre a decomposer
24      int I : Point de depart dans le tableau pour decomposer S
25
26  Sortie :
27      int : entier sous forme de boolean
28          0 si on a pas pu decomposer S exactement
29          1 sinon
30 */
31 int TRUC(int S, int I) {
32     if (S == 0) {
33         return 1;
```

```

34 } else if (S < 0 || I > N) {
35     return 0;
36 } else if (TRUC(S-P[I],I+1)) {
37     printf("%d\n",P[I]);
38     return 1;
39 } else {
40     return TRUC(S,I+1);
41 }
42 }
43
44 /* int truc_iter(int s, int i)
45     Meme fonction qu'au dessus, mais sous forme iterative
46
47     Entrees :
48         int s : Nombre a decomposer
49         int i : Point de depart dans P pour decomposer S
50
51     Sortie :
52         int : entier sous forme de booleen
53             0 si on a pas pu decomposer S exactement
54             1 sinon
55 */
56 int truc_iter(int s, int i) {
57     int sl = s;
58     int il = i;
59     int r = 0;
60     stack_t p;
61     if (init(&p,N)) {
62         do {
63             while (sl > 0 && il <= N) {
64                 push(&p,il);
65                 sl -= P[il];
66                 ++il;
67             }
68             if (sl == 0) {
69                 r = 1;
70                 while (!empty(p)) {
71                     pop(&p,&il);
72                     sl += P[il];
73                     printf("%d\n",P[il]);
74                 }
75             } else {
76                 r = 0;
77                 if (!empty(p)) {
78                     pop(&p,&il);
79                     sl += P[il];
80                     ++il;
81                 }
82             }
83         } while (!empty(p));
84         supp(&p);
85     }
86     return r;
87 }

```

2.3 Programme principal

Code C

```
1  /* main.c
2  Fonction principale du programme, pour les tests
3
4  -----| DERECURSIVATION DE FONCTION PAR PILE |-----
5
6  BARBESANGE Benjamin,
7  PISSAVY Pierre-Loup
8
9  ISIMA 1ere Annee, 2014-2015
10 */
11
12 #include "truc.h"
13 #include "stack.h"
14
15 extern int P[];
16
17 void pile_test(int);
18 void afficher_P();
19
20 int main(int argc, char *argv[]) {
21     FILE *f;
22     char buf[100];
23     int i, s, n;
24     if (argc > 1) {
25         /* Lecture de fichier de commandes */
26         f = fopen(argv[1], "r");
27         if (f) {
28             while (!feof(f)) {
29                 buf[0] = '\0';
30                 fgets(buf, 100, f);
31                 switch (buf[0]) {
32                     case 'p': /* pile */
33                         sscanf(&buf[1], "%d", &n);
34                         pile_test(n);
35                         break;
36                     case 't': /* truc iteratif */
37                         afficher_P();
38                         sscanf(&buf[1], "%d %d", &s, &i);
39                         printf("Reponse: %s\n", (truc_iter(s, i)) ? "Vrai" : "Faux");
40                         break;
41                     case 'T': /* truc recursif */
42                         afficher_P();
43                         sscanf(&buf[1], "%d %d", &s, &i);
44                         printf("Reponse: %s\n", (TRUC(s, i)) ? "Vrai" : "Faux");
45                         break;
46                     case '#': /* texte */
47                         printf("%s", &buf[1]);
48                         break;
49                     default:
50                         puts("\n");
51                 }
52             }
53         } else {
```

```

54     fprintf(stderr, "Fichier invalide\n");
55 }
56 } else {
57     /* Fonctions de tests de base */
58     printf("Test de pile:\n");
59     pile_test(4);
60     printf("Fonction recursive:\n");
61     TRUC(9,1);
62     printf("Fonction iterative:\n");
63     truc_iter(9,1);
64 }
65 return 0;
66 }
67
68 void pile_test(int n) {
69     stack_t p;
70     int i = 0;
71     if (init(&p,n)) {
72         while (push(&p,i)) {
73             printf("Empiler: %d\n",i);
74             ++i;
75         }
76         while (pop(&p,&i)) {
77             printf("Depiler: %d\n",i);
78         }
79         supp(&p);
80     }
81 }
82
83 void afficher_P() {
84     int i;
85     printf("Tableau P : ");
86     for (i = 1; i <= N; ++i) {
87         printf("%d ",P[i]);
88     }
89     printf("\n");
90 }

```

3 | Principes et lexiques des fonctions

Dans cette partie, sont décrits les algorithmes de principe associés aux fonctions écrites en langage C, ainsi qu'un lexique concernant les variables intermédiaires des fonctions.

Les lexiques des variables d'entrée, sortie et entrée/sortie sont disponibles dans le code source directement.

3.1 Gestion de la pile

La gestion de la pile s'effectue grâce aux fichiers `stack.c` et `stack.h`.

3.1.1 init

Algorithme init

Début

```
On initialise le code de retour à 1; [ Il n'y a aucune erreur ]
On initialise la taille max de la pile;
On initialise l'indice du haut de la pile à -1; [ Pour indiquer qu'elle est vide ]
On alloue l'espace de la pile;
Si l'allocation n'est pas réussie Alors
    Le code de retour passe à 0;
FinSi;
Retourner code de retour;
```

Fin

Lexique :

```
ret: code de retour, 0 si il y a une erreur de création de la pile, 1 sinon
```

3.1.2 supp

Ici, nous libérons simplement le tableau de valeurs de la pile, puisque celui-ci est alloué dynamiquement lors de la création. Nous avons choisi de modifier les champs (indice de tête de pile à -1 et taille de la pile à 0) afin d'empêcher tout traitement sur cette pile jusqu'à sa réinitialisation. En effet, les fonctions permettant d'empiler et de dépiler renverront un code d'erreur.

3.1.3 empty

Cette fonction teste simplement si l'indice du haut de la pile est -1 , ce qui signifie qu'il n'y a aucun élément dans la pile. Ainsi la valeur 1 sera retournée. Sinon la valeur 0 est retournée.

3.1.4 full

Cette fonction vérifie si l'indice de l'élément en haut de la pile est égal à la taille max de la pile (moins 1 , car les tableaux commencent à 0). Si c'est le cas, on renvoie 1 pour signaler que la pile est pleine, et 0 sinon.

3.1.5 pop

Algorithme pop

Début

```
On initialise le code de retour à 0; [ On n'a pas dépilé ]  
Si la pile n'est pas vide Alors  
    On dépile l'élément dans une variable en Input/Output;  
    Le code de retour passe à 1; [ On a dépilé et récupéré l'élément ]  
    On modifie l'indice de l'élément en haut de la pile; [ On retranche 1 à l'indice précédent ]  
FinSi;  
Retourner code de retour;
```

Fin

Lexique :

ok: code de retour, 0 si on n'a pas dépilé, 1 si on a dépilé la valeur en haut de la pile

3.1.6 top

Algorithme top

Début

```
On initialise le code de retour à 0; [ Pas d'élément lu ]  
Si la pile n'est pas vide Alors  
    On copie la tête de pile dans une variable en I/O;  
    Le code de retour passe à 1; [ On a récupéré la valeur ]  
FinSi;  
Retourner code de retour;
```

Fin

Lexique :

| ok: code de retour, 0 si on n'a pas récupéré l'élément en haut de la pile, 1 si on l'a récupéré

3.1.7 push

Algorithme push

Début

| On initialise le code de retour à 0; [L'élément n'est pas ajouté dans la pile]

| Si la pile n'est pas pleine Alors

| | On incrémente l'indice de l'élément en haut de la pile;

| | On place l'élément dans le tableau de la pile, à l'indice précédemment modifié;

| | Le code de retour passe à 1; [L'élément est empilé]

| FinSi;

| Retourner code de retour;

Fin

Lexique :

| ok: code de retour, 0 si on n'a pas empilé, 1 si on a empilé la valeur

3.2 Dérécursivation de la fonction

La fonction récursive ainsi que sa version itérative se trouvent dans les fichiers `truc.c` et `truc.h`.

3.2.1 TRUC

Cette fonction étant l'énoncé du TP, nous ne détaillerons ainsi ni le principe ni les variables utilisées dans cet algorithme.

Nous allons dérécurser cette fonction. Il s'agit d'un traitement simplifié du problème du sac à dos.

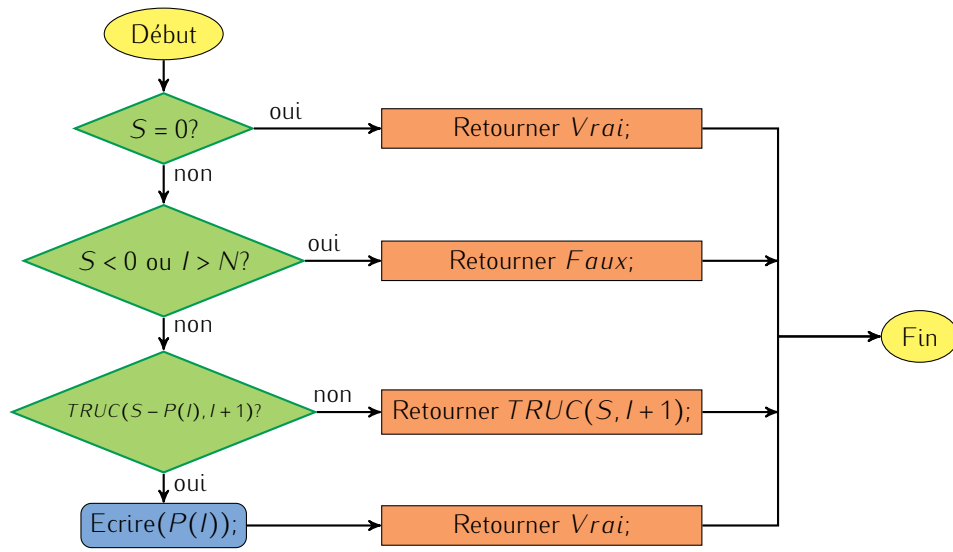


FIGURE 3.1 – Logigramme initial

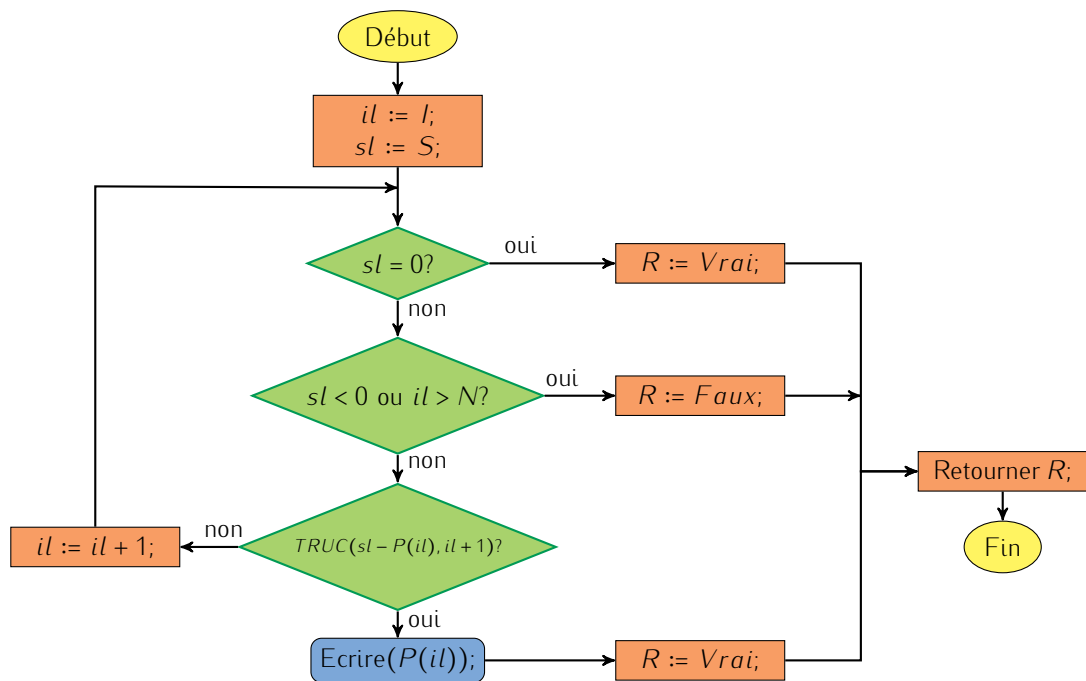


FIGURE 3.2 – Suppression des appels terminaux

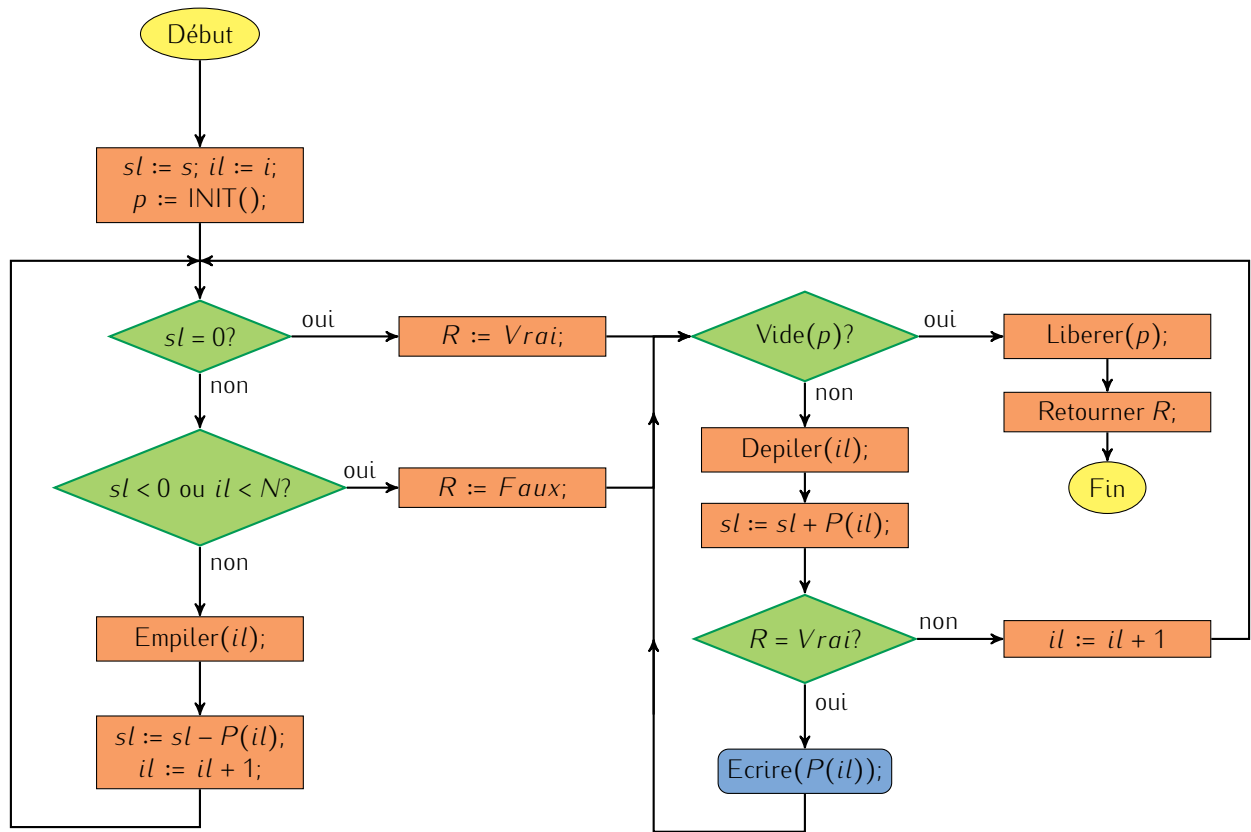


FIGURE 3.3 – Suppression des appels non-terminaux

3.2.2 truc_iter

Algorithme truc_iter (Principe)

Début

Copie des paramètres d'entrée dans des variables locales, sl et il;

Initialisation de la pile de la même taille que le tableau statique;

Si l'initialisation a réussi Alors

Répéter

TantQue $sl > 0$ Et $il \leq N$ Faire

On envoie il dans la pile;

$sl := sl - P(il)$;

On incrémente il;

FinTantQue;

Si $sl = 0$ Alors

Le booléen de retour est à Vrai;

TantQue la pile n'est pas vide Faire

On récupère il à partir de la pile;

On ajoute $P(il)$ à sl;

On affiche $P(il)$;

FinTantQue;

Sinon

Le booléen de retour est à Faux;

Si la pile n'est pas vide Alors

On récupère il à partir de la pile;

On ajoute $P(il)$ à sl;

On incrémente il;

FinSi;

FinSi;

TantQue la pile n'est pas vide fait;

On supprime la pile;

FinSi;

Retourner Booléen de retour;

Fin

Lexique :

sl: copie locale du nombre s passé en paramètre. Représente le nombre à décomposer

il: copie locale du nombre i passé en paramètre. Représente le point de départ dans le tableau pour

décomposer s

r: booléen de retour, indique 1 si on a obtenu la somme s, 0 sinon

p: pile

P: tableau d'entiers, défini statiquement

N: taille du tableau P

4 | Compte rendu d'exécution

4.1 Makefile

```
1 #Compilateur et options de compilation
2 CC=gcc
3 CFLAGS=-Wall -ansi -pedantic -Wextra -g
4
5 #Fichiers du projet
6 SOURCES=main.c stack.c truc.c
7 OBJECTS=$(SOURCES:.c=.o)
8
9 EXEC=prog
10
11 $(EXEC): $(OBJECTS)
12     $(CC) $(CFLAGS) $^ -o $(EXEC)
13
14 .c.o:
15     $(CC) -c $(CFLAGS) $.c
16
17 clean:
18     rm $(OBJECTS) $(EXEC)
```

4.2 Jeux de tests

4.2.1 Fichier de tests

La structure utilisée dans le fichier de tests est la suivante :

- Chaque ligne ne peut excéder 100 caractères,
- Le premier caractère de chaque ligne peut-être :
 - # : Permet d'afficher le texte présent sur la ligne, après le caractère.
 - p : Permet de lancer le test de la pile. Nécessite un argument : le nombre d'éléments, donné sur la même ligne.
 - t : Permet de lancer la fonction `truc` en version itérative. Prend deux arguments positifs, strictement pour le second. Le premier correspond à S, le second à I.
 - T : Idem pour la version réursive.
 - Tout autre caractère ou ligne vide affichera une ligne vide.

Le programme est exécuté avec le fichier `tests/test` :

```
Test
#1) Test de pile avec 5 éléments
p 5

#Comparons les resultats donnees par les deux fonctions
#2) TRUC(15,1)
T 15 1

#3) truc(15,1)
t 15 1

#Exemples de resolutions impossibles
#4) truc(15,7)
t 15 7

#5) TRUC(256,1)
T 256 1
```

On obtient alors le résultat suivant :

```
Resultat
1) Test de pile avec 5 éléments
Empiler: 0
Empiler: 1
Empiler: 2
Empiler: 3
Empiler: 4
Depiler: 4
Depiler: 3
Depiler: 2
Depiler: 1
Depiler: 0

Comparons les resultats donnees par les deux fonctions
2) TRUC(15,1)
Tableau P : 1 3 2 4 5 2 7 1 9 1
5
4
2
3
1
Reponse: Vrai

3) truc(15,1)
Tableau P : 1 3 2 4 5 2 7 1 9 1
5
4
2
3
1
Reponse: Vrai
```

Exemples de resolutions impossibles

4) truc(15,7)

Tableau P : 1 3 2 4 5 2 7 1 9 1

Reponse: Faux

5) TRUC(256,1)

Tableau P : 1 3 2 4 5 2 7 1 9 1

Reponse: Faux

4.2.2 Tests de la pile

Avec l'outil ddd nous présentons ici l'utilisation de la pile dans les tests n° 3 et 4 du fichier de tests.

1: p
max = 10
top = -1
val = 0x603270

2: il
1

3: sl
15

(a) Début

1: p
max = 10
top = 4
val = 0x603270

2: il
6

3: sl
0

(b) Après avoir empilé 1, 2, 3, 4 et 5

1: p
max = 10
top = -1
val = 0x603270

2: il
1

3: sl
15

(c) Fin, après avoir dépilé 5, 4, 3, 2 et 1

FIGURE 4.1 – Test n°3 – Aperçu des informations de la pile dans ddd

1: <i>p</i>
max = 10
top = -1
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
7

3: <i>s1</i>
15

(a) Début

1: <i>p</i>
max = 10
top = 2
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
10

3: <i>s1</i>
-2

(b) Après avoir empilé 7, 8 et 9

1: <i>p</i>
max = 10
top = 1
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
10

3: <i>s1</i>
7

(c) Après avoir dépilé 9

1: <i>p</i>
max = 10
top = 2
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
11

3: <i>s1</i>
6

(d) Après avoir empilé 10

1: <i>p</i>
max = 10
top = 1
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
11

3: <i>s1</i>
7

(e) Après avoir dépilé 10

1: <i>p</i>
max = 10
top = 0
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
9

3: <i>s1</i>
8

(f) Après avoir dépilé 8

1: <i>p</i>
max = 10
top = 1
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
10

3: <i>s1</i>
-1

(g) Après avoir empilé 9

1: <i>p</i>
max = 10
top = 0
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
10

3: <i>s1</i>
8

(h) Après avoir dépilé 9

1: <i>p</i>
max = 10
top = 1
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
11

3: <i>s1</i>
7

(i) Après avoir empilé 10

1: <i>p</i>
max = 10
top = 0
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
11

3: <i>s1</i>
8

(j) Après avoir dépilé 10

1: <i>p</i>
max = 10
top = -1
val = 0x603270

2: <i>i1</i>
8

3: <i>s1</i>
15

(k) Fin, après avoir dépilé 7

FIGURE 4.2 – Test n°4 – Aperçu de la pile dans ddd

4.2.3 Bonne utilisation de la mémoire

Pour vérifier la bonne libération de la mémoire, nous avons utilisé **valgrind** avec le programme seul. La fonction **main**, lorsqu'elle ne reçoit pas d'argument, lance un petit test sur les deux versions de la fonction **truc**, ainsi qu'un test sur la pile (initialiser, empiler jusqu'à ce que la pile soit remplie/dépiler jusqu'à ce qu'elle soit vide, libérer). Aucun bloc de mémoire n'est perdu, le retour texte de valgrind est présenté en figure 4.3.

```
Resultat Valgrind
==12709== Memcheck, a memory error detector
==12709== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian Seward et al.
==12709== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with -h for copyright info
==12709== Command: ../src/prog
==12709==
Test de pile:
Empiler: 0
Empiler: 1
Empiler: 2
Empiler: 3
Dépiler: 3
Dépiler: 2
Dépiler: 1
Dépiler: 0
Fonction recursive:
1
2
2
3
1
Fonction iterative:
1
2
2
3
1
==12709==
==12709== HEAP SUMMARY:
==12709==    in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==12709== total heap usage: 2 allocs, 2 frees, 56 bytes allocated
==12709==
==12709== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==12709==
==12709== For counts of detected and suppressed errors, rerun with: -v
==12709== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

FIGURE 4.3 – Passage dans l'outil valgrind