

Algorithmique et programmation : les bases (C)

Corrigé

Résumé

Ce document décrit l'écriture dans le langage C des éléments vus en algorithmique.

Table des matières

1	Pourquoi définir notre langage algorithmique ?	3
2	Structure d'un algorithme	3
2.1	Exemple d'algorithme : calculer le périmètre d'un cercle	3
2.2	Structure de l'algorithme	3
2.3	Identificateurs	4
2.4	Commentaires	4
3	Variables	4
3.1	Qu'est ce qu'une variable ?	4
3.2	Définition d'une variable	4
4	Types fondamentaux	5
4.1	Les entiers	5
4.2	Les réels	5
4.3	Les booléens	5
4.4	Les caractères	6
4.5	Les chaînes de caractères	6
5	Constantes	6
6	Expressions	7
7	Instructions d'entrée/sorties	7
7.1	Opération d'entrée	7
7.2	Opération de sortie	8
8	Affectation	10

9	Structures de contrôle	12
9.1	Enchaînement séquentiel	12
9.2	Instructions conditionnelles	13
9.2.1	Conditionnelle Si ... Alors ... FinSi	13
9.2.2	Conditionnelle Si ... Alors ... Sinon ... FinSi	15
9.2.3	La clause SinonSi	16
9.2.4	Conditionnelle Selon	18
9.3	Instructions de répétitions	19
9.3.1	Répétition TantQue	19
9.3.2	Répétition Répéter ... Jusqu'À	22
9.3.3	Répétition Pour	24
9.3.4	Quelle répétition choisir ?	26

Liste des exercices

Exercice 1	: Cube d'un réel	9
Exercice 2	: Permuter deux caractères	11
Exercice 3	: Cube d'un réel (avec une variable)	11
Exercice 4	: Une valeur entière est-elle paire ?	13
Exercice 5	: Maximum de deux valeurs réelles	15
Exercice 6	: Signe d'un entier	16
Exercice 7	: Réponse	18
Exercice 8	: Somme des premiers entiers (TantQue)	19
Exercice 9	: Saisie contrôlée d'un numéro de mois	21
Exercice 10	: Plusieurs sommes des n premiers entiers	22
Exercice 11	: Saisie contrôlée d'un numéro de mois	24
Exercice 12	: Somme des premiers entiers	25

1 Pourquoi définir notre langage algorithmique ?

2 Structure d'un algorithme

2.1 Exemple d'algorithme : calculer le périmètre d'un cercle

Un exemple d'algorithme/programme est donné ci-dessous. Il décrit comment obtenir le périmètre d'un cercle à partir de son diamètre. Cet exemple est volontairement très simple.

Listing 1 – Programme C pour calculer le périmètre d'un cercle

```
1  /*****
2  * Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  * Version : 1.1
4  * Titre   : Déterminer le périmètre d'un cercle à partir de son rayon.
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 #define PI 3.1415
11
12 int main()
13 {
14     double rayon;      /* le rayon du cercle lu au clavier */
15     double perimetre;  /* le perimètre du cercle */
16
17     /* Saisir le rayon */
18     printf("Rayon_=");
19     scanf("%lf", &rayon);
20
21     /* Calculer le périmètre */
22     perimetre = 2 * PI * rayon;          /* par définition */
23     /*{ perimetre == 2 * PI * rayon }*/
24
25     /* Afficher le périmètre */
26     printf("Le_périmètre_est_:%4.2f\n", perimetre);
27
28     return EXIT_SUCCESS;
29 }
```

2.2 Structure de l'algorithme

La structure d'un programme C est proche de celle d'un algorithme. Le fichier, qui doit avoir l'extension `.c`, commence par un cartouche faisant apparaître le nom des auteurs du programme, la version ou la date de réalisation et l'objectif du programme. Ces éléments sont mis dans des commentaires et sont donc ignorés par le compilateur.

Les `#include` correspondent à des directives qui indiquent au compilateur (en fait au préprocesseur) d'inclure les fichiers nommés `stdio.h` et `stdlib.h`. Ces fichiers font parties de la biblio-

thèque standard du C et donne accès à des fonctions déjà définies. Par exemple les fonctions d'affichage (`printf`) et de lecture (`scanf`) sont définies dans `stdio.h`. La constante `EXIT_SUCCESS` est définie dans `stdlib.h`. Si on ne met pas ces **#include**, on ne peut pas utiliser ces fonctions ou constantes.

Le **#define** suivant permet de définir la constante `PI`. Il correspond donc à une définition.

Finalement, les déclarations et instructions sont regroupées entre les accolades qui suivent `int main()`, d'abord les déclarations, puis les instructions. `main` est la fonction principale, c'est-à-dire que c'est elle qui est exécutée quand le programme sera lancé. Les instructions sont les mêmes que celle présentées dans l'algorithme même si elles ont une forme un peu différente.

2.3 Identificateurs

Un identificateur est un mot de la forme : une lettre (y compris le souligné) suivie d'un nombre quelconque de lettres et de chiffres.

Attention, il n'est pas possible d'utiliser les lettres accentuées en C.

2.4 Commentaires

Les commentaires commencent par `/*` et se terminent par `*/`. Attention, les commentaires ne peuvent pas être imbriqués.

Pour représenter une propriété du programme, nous utiliserons `/*{ ... }*/`.

Le langage C++ ajoute les commentaires qui commencent par `//` et se termine avec la fin de la ligne (comme `--`). Ils peuvent être utilisés là où on met `--` en algorithmique.

3 Variables

3.1 Qu'est ce qu'une variable ?

3.2 Définition d'une variable

En C, on commence par mettre le type suivi du nom de la variable et un point-virgule.

```
double prix_unitaire; /* prix unitaire d'un article (en euros) */
int quantite;        /* quantité d'articles commandés */
char nom[20];        /* nom de l'article */
```

Les types et leur signification seront présentés dans la suite du cours.

Il est possible de déclarer plusieurs variables du même type en les séparant par des virgules mais ceci est déconseillé sauf si le même commentaire s'applique à toutes les variables.

```
int a, b, c; /* trois entiers */
```

4 Types fondamentaux

Les opérateurs de comparaison se notent : <, >, <=, >=, == et !=. Notez bien que l'égalité est notée avec deux fois le caractère =.

4.1 Les entiers

Le type entier se note **int**. Cependant, des qualificatifs peuvent venir préciser :

- sa taille, c'est-à-dire le nombre d'octets sur lequel il est représenté (2 octets pour **short**, 4 pour **long**). La taille d'un **int** est comprise entre celle d'un **short int** d'un **long int**.

Notons que **int** est optionnel quand on utilise **short** et **long**.

```
short int a;    /* un entier court */
short a;       /* également un entier court (int est implicite) */
long l;        /* un entier long (int est aussi implicite) */
```

- s'ils sont signés ou non. Par défaut, les entiers sont signés (positifs ou négatif). Si l'on précise **unsigned** devant le type, ils ne peuvent pas être négatifs.

```
unsigned int n;    /* un entier non signé */
unsigned short s; /* un entier court non signé */
```

Le reste de la division entière se note % et la division entière se note tous simplement /. Il faut faire attention à ne pas la confondre avec la division sur les réels.

```
10 % 3 /* 1 (le reste de la division entière de 10 par 3) */
10 / 3 /* 3 (le quotient de la division entière de 10 par 3) */
1 / 2  /* 0 (le quotient de la division entière de 1 par 2) */
abs(-5) /* 5 (l'entier est mis entre parenthèses (cf sous-programmes)) */
```

Notons que les débordement de capacité sur les opérations entières ne provoquent aucune erreur à l'exécution... mais le résultat calculé est bien sûr faux par rapport au résultat attendu !.

Remarque : Le type **char** (caractère, section 4.4) fait partie des entiers.

4.2 Les réels

Il existe deux types réels, les réels simple précision appelés **float** et les réels double précision appelés **double**.

La valeur absolue se note fabs. Elle prend en paramètre un **double** et retourne un **double**. Pour pouvoir l'utiliser, il faut ajouter en début de fichier **#include <math.h>**. Dans ce même module sont définies la racine carrée (sqrt), les fonctions trigonométriques (sin, cos, etc.)...

La partie entière d'un réel s'obtient en faisant un cast : **(int)** 3.14 correspond à 3. Ceci correspond à convertir en entier le réel 3.14.

4.3 Les booléens

Le type booléen n'existe pas. C'est le type entier qui remplace les booléens avec la convention suivante : 0 correspond à FAUX, tous le reste à VRAI. Il faut donc comparer par rapport à 0 et non par rapport à 1 ou un autre entier non nul !

Cependant, il existe un module standard (`<stdbool.h>`) qui définit un type booléen `bool` avec les deux valeurs `true` et `false`.

Les opérateurs logiques se notent `&&` pour **Et**, `||` pour **Ou** et `!` pour **Non**.

```
1 &&      /* ET logique          expr1 && expr2 */
2 ||      /* OU logique          expr1 || expr2 */
3 !       /* NON logique         ! expr1      */
```

Les expressions booléennes sont évaluées en court-circuit (on parle d'évaluation partielle), c'est-à-dire que dès que le résultat d'une expression est connu, l'évaluation s'arrête. Par exemple, `true || expression` sera évaluée à `true` sans calculer la valeur de expression.

4.4 Les caractères

Le type caractère se note **char**. Les constantes caractères se notent comme en algorithmique. Cependant, le type **char** est en fait un type entier et sa valeur est le code ASCII du caractère. Il n'y a donc pas de fonctions `Chr` et `Ord`.

```
char c;
int i;
c = 'A';      /* la valeur de c est 'A' */
i = c;        /* la valeur de i est 65, code ASCII de 'A' */
```

Enfin, si `c` est un caractère correspondant à un chiffre (`c >= '0' && c <= '9'`), `c - '0'` est la valeur entière de ce chiffre (entre 0 et 9).

4.5 Les chaînes de caractères

Les constantes « chaînes de caractères » se notent comme en algorithmique.

```
1 "Une_chaine_de_caractères"
2 "Une_chaine_avec_guillement_("\\")"
```

5 Constantes

Les constantes sont définies en utilisant **#define** :

```
#define PI 3.1415      /* Valeur de PI */
#define MAJORITÉ 18    /* Âge correspondant à la majorité */
#define TVA 19.6      /* Taux de TVA en vigueur au 15/09/2000 (en %) */
#define CAPACITÉ 120  /* Nombre maximum d'étudiants dans une promotion */
#define INTITULÉ "Algorithmique_et_programmation" /* par exemple */
```

Attention : Ne surtout pas mettre de point-virgule (« ; ») après la déclaration d'une constante avec **#define**. **#define** n'est pas traitée par le compilateur mais par le préprocesseur qui fait bêtement du remplacement de texte. Le point-virgule provoquera donc des erreurs là où est utilisée la macro et non où elle est définie !

6 Expressions

La priorité des opérateurs est différente. Voici la table des priorités de C.

1	16G	-> .
2	15D	(unaires) sizeof ++ -- ~ ! + - * & (cast)
3	13G	* / %
4	12G	+ -
5	11G	<< >>
6	10G	< <= > >=
7	9G	== !=
8	8G	&
9	7G	^
10	6G	
11	5G	&&
12	4G	
13	3G	?: (si arithmétique)
14	2D	= *= /= %= += -= <<= >>= &= = ^=
15	1G	,

```
1 a + b + c + d // G : associativité à gauche ((a + b) + c) + d
2 x = y = z = t // D : associativité à droite x = (y = (z = t))
```

Le dernier exemple correspond à l'affectation.

Solution : Pour l'exercice Parenthéser, on obtient donc un résultat différent :

```
(2 + (x * 3))                -- ok si x Entier (ou Réel)
((( - x) + (3 * y)) <= (10 + 3)) -- ok si x et y entiers (ou réels)
((x == 0) Ou (y == 0))      -- ok si x et y entiers (ou réels)
```

7 Instructions d'entrée/sorties

7.1 Opération d'entrée

On utilise scanf qui est une fonction de saisie qui fonctionne avec un format décrivant la nature de l'information à lire et donc la conversion à effectuer.

```
1 char un_caractere;
2 int un_entier;
3 float un_reel;
4 double un_double;
5
6 scanf("%c", &un_caractere);
7 scanf("%d", &un_entier);
8 scanf("%i", &un_entier); /* %i est équivalent à %d */
9 scanf("%f", &un_reel);
10 scanf("%lf", &un_double);
11 scanf("%c%d%lf", &un_caractere, &un_entier, &un_double);
```

Chaque % rencontré dans le format (la chaîne de caractères) est suivi d'un caractère indiquant la nature de l'information à lire (c pour caractère, d pour entier, etc.). À chaque % doit

correspondre une variable donnée après le format. Les variables sont séparées par des virgules et sont précédées du signe & (voir sous-programmes). Le & indique que l'on donne l'adresse de la variable de qui permet à scanf de changer la valeur de la variable.

En faisant **#include** <iostream>, on peut utiliser l'opérateur >> :

```

1 char un_caractere;
2 int un_entier;
3 float un_reel;
4 double un_double;
5
6 std::cin >> un_caractere;
7 std::cin >> un_entier;
8 std::cin >> un_reel;
9 std::cin >> un_double;
10 std::cin >> un_caractere >> un_entier >> un_double;
```

Notons que `std::cin` désigne l'entrée standard, le clavier par défaut.

Il n'y a plus à faire attention ni au format utilisé, ni au nombre de variables fournies.

7.2 Opération de sortie

On utilise `printf` qui est une fonction de saisie qui, comme `scanf`, fonctionne avec un format décrivant la nature de l'information à écrire et donc la conversion à effectuer.

```

1 char un_caractere = 'A';
2 int un_entier = 10;
3 float un_reel = 3.14;
4 double un_double = 1.10e-2;
5
6 printf("%c\n", un_caractere);
7 printf("%d\n", un_entier);
8 printf("%f\n", un_reel);
9 printf("%f\n", un_double);
10 printf("2*_%d=%d\n", un_entier, un_entier * 2);
11 printf("c=%c_et_nb=%f\n", un_caractere, un_double);
```

Notons que `std::cout` désigne la sortie standard, l'écran par défaut. `std::cerr` désigne la sortie en erreur (également reliée à l'écran par défaut).

Le programme affiche alors :

```
1 /bin/sh: 1: exemples-printf: not found
```

Notons que l'on ne met pas de & devant l'expression.

En C++ : En faisant **#include** <iostream>, on peut utiliser l'opérateur << :

```

1 char un_caractere = 'A';
2 int un_entier = 10;
3 float un_reel = 3.14;
4 double un_double = 1.10e-2;
5
6 std::cout << un_caractere << std::endl;
7 std::cout << un_entier << std::endl;
```



```

8  std::cout << un_reel << std::endl;
9  std::cout << un_double << std::endl;
10 std::cout << "2*_ " << un_entier << "_=" << un_entier * 2 << std::endl ;
11 std::cout << "c_=" << un_caractere
12         << "_et_nb_=" << un_double << std::endl;

```

Le programme affiche alors :

```
1 /bin/sh: 1: exemples-printf-cpp: not found
```

Remarque : Malheureusement, le scanf et le printf de C ne sont pas polymorphes et c'est pour cette raison que le programmeur doit préciser le format. Les opérateurs << et >> de C++ sont, quant à eux, polymorphes.

Exercice 1 : Cube d'un réel

Écrire un programme qui affiche le cube d'un nombre réel saisi au clavier.

Solution :

```

1  R0 : Afficher le cube d'un nombre réel
2
3  Tests :
4      0 -> 0
5      1 -> 1
6      2 -> 8
7      -2 -> -8
8      1.1 -> 1,331
9
10 R1 : Raffinage De « Afficher le cube d'un nombre réel »
11   | Saisir un nombre réel      x: out Réel
12   | Afficher le cube de x      x: in Réel
13
14 R2 : Raffinage De « Afficher le cube de x »
15   | Écrire(x * x * x)

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version : 1.2
4  *  Objectif : afficher le cube d'un nombre réel
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     double x; /* un nombre saisi par l'utilisateur */
13
14     /* Saisir un nombre réel */
15     printf("Nombre_=");
16     scanf("%lf", &x);
17
18     /* Afficher le cube de x */
19     printf("Son_cube_est_:%f\n", x * x * x);

```

```

20
21     return EXIT_SUCCESS;
22 }

```

8 Affectation

L'affectation se note avec un signe =.

Remarque : L'affectation peut être enchaînée : $a = b = c = 0$; consiste à initialiser c, b puis a avec la valeur 0. C'est équivalent à $a = (b = (c = 0))$;

Attention : Il ne faut pas confondre = (affectation) et == (égalité).

Il existe des formes condensées de l'affectation. Par exemple, $x = x + y$ peut se noter $x += y$. Ces formes condensées fonctionnent avec la plupart des opérateurs mais elles sont à éviter dans le cas général car elles peuvent nuire à la lisibilité.

```

x += y /* x = x + y */
x -= y /* x = x - y */
x %= y /* x = x % y */
x |= y /* x = x | y */
...

```

Enfin, il existe les opérateurs de pré-incrémentation et post-incrémentation (idem avec décrémentation).

```

int i = 10;
i++; /* postincrémentation de i */
++i; /* préincrémentation de i */
i--; /* postdécrémentation de i */
--i; /* prédécrémentation de i */

```

Ces opérateurs peuvent être utilisés dans des instructions (ce qui n'est généralement pas recommandé). On parle de post ou de pré car il sont respectivement exécutés avant et avant l'instruction elle-même.

Ainsi $x = ++y$; est équivalent à :

```

++y;
x = y;

```

Prenons un exemple plus compliqué :

```

int x, y, z, t, u;
x = 3;
y = 7;
z = ++x; /* x == 4, y == 7, z == 4, t == ?, u == ? */
t = y--; /* x == 4, y == 6, z == 4, t == 7, u == ? */
u = x++ + --y; /* x == 5, y == 5, z == 4, t == 7, u == 9 */

```

La dernière instruction est équivalente à :

```

--y; /* décrémentation de y ==> y == 5 */
u = x + y; /* y = 4 + 5 ==> y == 9 */
x++; /* incrémentation de x ==> x == 5 */

```

Exercice 2 : Permuter deux caractères

Écrire un programme qui permute la valeur de deux variables c1 et c2 de type caractère.

Solution : Le principe est d'utiliser une variable intermédiaire (tout comme on utilise un récipient intermédiaire si l'on veut échanger le contenu de deux bouteilles).

```

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version  : 1.2
4  *  Objectif : Permuter deux caractères c1 et c2
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     char c1, c2;      /* les deux caractères à permuter */
13     char tmp;        /* notre intermédiaire */
14
15     /* initialiser c1 et c2 */
16     c1 = 'A';
17     c2 = 'Z';
18
19     /* permuter c1 et c2 */
20     tmp = c1;
21     c1 = c2;
22     c2 = tmp;
23
24     /* afficher pour vérifier */
25     printf("c1=_%c_et_c2=_%c\n", c1, c2);
26     return EXIT_SUCCESS;
27 }

```

Exercice 3 : Cube d'un réel (avec une variable)

Reprenons l'exercice 1.

3.1 Utiliser une variable intermédiaire pour le résoudre.

Solution : On reprend le même R0 et les mêmes tests. En fait, seule la manière de résoudre le problème change.

```

1  R1 : Raffinage De « Afficher le cube d'un nombre réel »
2  | Saisir un nombre réel      x: out Réel
3  | Calculer le cube de x      x: in Réel ; cube: out Réel
4  | Afficher le cube
5
6  R2 : Raffinage De « Afficher le cube de x »
7  | cube <- x * x * x

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version  : 1.1
4  *  Objectif : afficher le cube d'un nombre réel

```

```
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     double x;          /* un nombre saisi par l'utilisateur */
13     double cube;      /* le cube de x */
14
15     /* Saisir un nombre réel */
16     printf("Nombre_=_");
17     scanf("%lf", &x);
18
19     /* Calculer le cube de x */
20     cube = x * x * x;
21
22     /* Afficher le cube */
23     printf("Son_cube_est_:%f\n", cube);
24
25     return EXIT_SUCCESS;
26 }
```

3.2 Quel est l'intérêt d'utiliser une telle variable ?

Solution : L'intérêt d'utiliser une variable intermédiaire est d'améliorer la lisibilité du programme car elle permet de mettre un nom sur une donnée manipulée. Ici on nomme `cube` la donnée $x * x * x$.

De plus, ceci nous a permis, au niveau du raffinement, de découpler le calcul du cube de son affichage. Il est toujours souhaitable de séparer calcul des opérations d'entrées/sorties car l'interface avec l'utilisateur est la partie d'une application qui a le plus de risque d'évoluer.

3.3 Exécuter à la main l'algorithme ainsi écrit.

Solution : À faire soi-même ! On peut également l'exécuter sous le débogueur. La seule différence c'est que le débogueur n'indique pas les variables qui ont une valeur indéterminée.

9 Structures de contrôle

9.1 Enchaînement séquentiel

La séquence s'exprime comme en algorithmique. Pour bien mettre en évidence une séquence d'instructions, on peut la mettre entre accolades. On parle alors de bloc d'instructions. L'intérêt des accolades est alors double :

- il permet de considérer l'ensemble des instructions dans les accolades comme une seule instruction ;
- il permet de déclarer des variables (locales à ce bloc).

9.2 Instructions conditionnelles

9.2.1 Conditionnelle Si ... Alors ... FinSi

```

if (condition)
    une_seule_instruction;

if (condition) {
    instruction1;
    ...
    instructionn;
}

```

Cette deuxième forme est largement préférable car dans la première on ne peut mettre qu'une seule instruction contrôlée par le **if** alors que dans la seconde, on peut en mettre autant qu'on veut, grâce aux accolades.

Dans la suite, nous utiliserons pour toutes les structures de contrôle la forme avec les accolades mais il existe la forme sans accolades (et donc avec une seule instruction) que nous déconseillons fortement d'utiliser !

Exercice 4 : Une valeur entière est-elle paire ?

Écrire un algorithme qui lit une valeur entière au clavier et affiche « paire » si elle est paire.

Solution :

```

1  R0 : Afficher « paire » si une valeur entière saisie au clavier est paire
2
3  tests :
4      2 -> paire
5      5 -> -----
6      0 -> paire
7
8  R1 : Raffinage De « Afficher ... »
9      | Saisir la valeur entière n
10     | Afficher le verdict de parité
11
12 R2 : Raffinage De « Afficher le verdict de parité »
13     | Si n est paire Alors
14     | | Écrire("paire")
15     | FinSi
16
17 R3 : Raffinage De « n est paire »
18     | Résultat <- n Mod 2 = 0

```

Dans le raffinement précédent un point est à noter. Il s'agit du raffinement R2 qui décompose « Afficher le verdict de parité ». Nous n'avons pas directement mis la formule « $n \bmod 2 = 0$ ». L'intérêt est que la formulation « n est paire » est plus facile à comprendre. Avec la formule, il faut d'abord comprendre la formule, puis en déduire sa signification. « n est paire » nous indique ce qui nous intéresse comme information (facile à lire et comprendre) et son raffinement (R3) explique comment on détermine si n est paire. Le lecteur peut alors vérifier la formule en sachant ce qu'elle est sensée représenter.

Raffiner est quelque chose de compliquer car on a souvent tendance à descendre trop vite dans les détails de la solution sans s'arrêter sur les étapes intermédiaires du raffinement alors que ce sont elles qui permettent d'expliquer et de donner du sens à la solution.

Dans cet exercice, vous vous êtes peut-être posé la question : « mais comment sait-on que n est paire ». Si vous avez trouvé la solution vous avez peut-être donnée directement la formule alors que le point clé est la question. Il faut la conserver dans l'expression de votre algorithme ou programme, donc en faire une étape du raffinement.

Si vous arrivez sur une étape que vous avez du mal à décrire, ce sera toujours une indication d'une étape qui doit apparaître dans le raffinement. Cependant, même pour quelque chose de simple, que vous savez faire directement, il faut être capable de donner les étapes intermédiaires qui conduisent vers et expliquent la solution proposée. Ceci fait partie de l'activité de construction d'un programme ou algorithme.

Remarque : Il est généralement conseillé d'éviter de mélanger traitement et entrées/sorties. C'est pourtant ce qui a été fait ci-dessus. On aurait pu écrire le premier niveau de raffinement différemment en faisant.

```

1  R1 : Raffinage De « Afficher ... »
2    | Saisir la valeur entière           n: out Entier
3    | Déterminer la parité de n         n: in ; paire: out Booléen
4    | Afficher le verdict de parité     paire: in Booléen
5
6  R2 : Raffinage De « Déterminer la parité de n »
7    | parité <- (n Mod 2) = 0
8
9  R2 : Raffinage De « Afficher le verdict de parité »
10   | Si paire Alors
11   | | Écrire("paire")
12   | FinSi

```

On constate ici que la variable intermédiaire « paire » permet d'avoir un programme plus lisible car on a donné un nom à la quantité $(n \text{ Mod } 2) = 0$.

```

1  /*****
2   *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3   *  Version  : Revision : 1.1
4   *  Objectif : Afficher « paire » si une valeur entière est paire.
5   *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     int n;          /* valeur saisie au clavier */
13
14     /* Saisir la valeur entière n */
15     printf("Valeur_=_");
16     scanf("%d", &n);
17
18     /* Afficher le verdict de parité */

```

```

19     if (n % 2 == 0) { /*{ n est paire }*/
20         printf("paire\n");
21     }
22
23     return EXIT_SUCCESS;
24 }

```

9.2.2 Conditionnelle Si ... Alors ... Sinon ... FinSi

```

if (condition) {                               /* séquence1 */
    instruction1,1;
    ...
}
else { /* ! condition */                       /* séquence2 */
    instruction2,1;
    ...
}

```

Exercice 5 : Maximum de deux valeurs réelles

Étant données deux valeurs réelles lues au clavier, afficher à l'écran la plus grande des deux.

Solution :

```

1  R0 : Afficher le plus grand de deux réels saisis au clavier
2
3  tests :
4      1 et 2 -> 2
5      2 et 1 -> 1
6      3 et 3 -> 3
7
8  R1 : Raffinage De « Afficher le plus grand de deux réels ... »
9      | Saisir les deux réels          x1, x2 : out Réel
10     | Déterminer le maximum          x1, x2 : in ; max : out Réel
11     | Afficher le maximum
12
13 R2 : Raffinage De « Déterminer le maximum »
14     | Si x1 > x2 Alors
15     | | max <- x1
16     | Sinon
17     | | max <- x2
18     | FinSi

1  /*****
2  * Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  * Version : 1.1
4  * Objectif : Afficher le plus grand de deux réels saisis au clavier
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9

```

```

10 int main()
11 {
12     double x1, x2;      /* les deux réels saisis au clavier */
13     double max;       /* le plus grand de x1 et x2 */
14
15     /* Saisir les deux réels */
16     printf("Deux réels:_:");
17     scanf("%lf%lf", &x1, &x2);
18
19     /* Déterminer le maximum */
20     if (x1 > x2) {
21         max = x1;
22     }
23     else {
24         max = x2;
25     }
26
27     /* Afficher le maximum */
28     printf("max(%f,_%f)_=%f\n", x1, x2, max);
29
30     return EXIT_SUCCESS;
31 }

```

9.2.3 La clause SinonSi

```

if (condition1) {      /* séquence1 */
    instruction1,1;
    ...
}
else if (condition2) { /* séquence2 */
    instruction2,1;
    ...
}
...
else if (conditionn,1) { /* séquencen */
    instructionn,1;
    ...
}
else {
    instruction1;
    ...
}

```

Exercice 6 : Signe d'un entier

Étant donné un entier lu au clavier, indiquer s'il est nul, positif ou négatif.

Solution :

```

1 R0 : Afficher le signe d'un entier
2
3 tests :

```



```

4     2 -> positif
5     0 -> nul
6     -1 -> négatif
7
8 R1 : Raffinage De « Afficher le signe d'un entier »
9   | Saisir un entier n           n: out Entier
10  | Afficher le signe de n       n: in
11
12 R2 : Raffinage De « Afficher le signe de n »
13  | Si n > 0 Alors
14  | | Écrire("positif");
15  | SinonSi n < 0 Alors
16  | | Écrire("positif");
17  | Sinon { Non (n > 0) Et Non (n < 0) donc N = 0 }
18  | | Écrire("nul");
19  | FinSi

```

Le principe est d'utiliser un **SinonSi** car les trois cas sont exclusifs.

```

1  /*****
2  * Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  * Version  : Revision
4  * Objectif : Afficher le signe d'un entier
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     int n;          /* entier saisi au clavier */
13
14     /* Saisir un entier n */
15     printf("Valeur_entièrè:_:");
16     scanf("%d", &n);
17
18     /* Afficher le signe de n */
19     if (n > 0) {
20         printf("positif\n");
21     }
22     else if (n < 0) {
23         printf("négatif\n");
24     }
25     else {
26         printf("nul\n");
27     }
28
29     return EXIT_SUCCESS;
30 }

```

9.2.4 Conditionnelle Selon

Le Selon est la structure de contrôle dont la transcription en C est la plus éloignée de la version algorithmique.

```
switch (expression) {
    case expr_cste1:
        instructions1;
    case expr_cste2:
        instructions2;
    ...
    case expr_csten:
        instructionsn;
    default:
        instruction;
}
```

Principe : L'exécution commence par les instructions de la 1^{re} expression constante qui correspond à l'expression du **switch** et continue jusqu'à un **break** ou la fin du **switch**. Ainsi, si on ne met pas de **break**, les instructions du cas suivant seront également exécutées.

Conséquence : Si le même traitement doit être fait pour plusieurs cas, il suffit de lister les différents **case** correspondants consécutivement.

Conseil : Mettre un **break** après chaque groupe d'instructions d'un **case**.

Exercice 7 : Réponse

Écrire un programme qui demande à l'utilisateur de saisir un caractère et qui affiche « affirmatif » si le caractère est un « o » (minuscule ou majuscule), « négatif » si c'est un « n » (minuscule ou majuscule) et « !?!?!? » dans les autres cas.

Solution :

```
1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version : 1.2
4  *  Objectif : Répondre par « affirmatif », « négatif » ou « !?!?!? ».
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     char reponse;          /* caractère lu au clavier */
13
14     /* saisir le caractère */
15     printf("Votre_réponse_(o/n)_:");
16     scanf("%c", &reponse);
17
18     /* afficher la réponse */
19     switch (reponse) {
20         case 'o':
21         case 'O':
22             printf("Affirmatif_\n");
```

```

23         break;
24
25     case 'n':
26     case 'N':
27         printf("Négatif_!\n");
28         break;
29
30     default:
31         printf("?!?!?!?_!\n");
32     }
33
34     return EXIT_SUCCESS;
35 }

```

9.3 Instructions de répétitions

9.3.1 Répétition TantQue

```

while (condition) {
    instruction;
    ...
}

```

Exercice 8 : Somme des premiers entiers (TantQue)

Calculer la somme des n premiers entiers.

Solution : Une solution algorithmique sous forme de raffinages peut-être la suivante :

```

1  R0 : Afficher la somme des n premiers entiers
2
3  R1 : Raffinage De « Afficher la somme des n premiers entiers »
4      Saisir la valeur de n (pas de contrôle)      n: out Entier
5      { n >= 0 }
6      Calculer la somme des n premiers entiers      n: in; somme: out Entier
7      Afficher la somme                             somme: in Entier
8
9  R2 : Raffinage De « Calculer la somme des n premiers entiers »
10     somme <- 0                                     somme: out
11     i <- 1                                         i: out Entier
12     TantQue i <= n Faire                          i, n: in
13         { Variant : n - i + 1 }
14         { Invariant : somme =  $\sum_{j=0}^{i-1} j$  }
15         somme <- somme + i                         somme, i: in; somme: out
16         i <- i + 1                                i: in; i: out
17     FinTQ

```

Intéressons nous à la condition après le **TantQue**. On a la propriété suivante :

```

(i > n)                -- sortie du TantQue : Non (i <= n)
Et (n - i + 1 >= 0)   -- variant >= 0
Et (somme =  $\sum_{j=1}^{i-1} j$ ) -- invariant

```

Les deux premières expressions s'écrivent

$$(i > n) \text{ Et } (i \leq n+1)$$

On en déduit : $i = n + 1$.

La troisième donne alors :

$$\text{somme} = \sum_{j=1}^n j$$

C'est bien le résultat demandé !

Bien entendu, il faut aussi prouver que le variant est toujours positif et qu'il décroît strictement (on incrémente i de 1 donc on diminue le variant de 1). Il faut également prouver que l'invariant est toujours vrai.

Commençons par le variant. Montrons par récurrence sur le nombre de passage dans la boucle que le **variant est toujours positif**.

Si le nombre de passage est nul, donc avant le premier passage, on a : $V_0 = n - i + 1 = n - 1 + 1 = n$. Par hypothèse sur n (saisie contrôlée), on a bien $V_0 \geq 0$

Supposons la propriété vraie pour le passage p . On a donc : $V_p \geq 0$

Montrons que V_{p+1} est vraie. On notera avec des primes les variables de V_{p+1} au lieu d'utiliser des indices en p .

$$\text{On a : } V_{p+1} = n' - i' + 1$$

Si on parle de V_{p+1} c'est qu'on est passé dans la boucle. Donc la condition du **TantQue** est vraie. On a donc $i \leq n$.

Or on a $n' = n$ et $i' = i + 1$ (passage une fois dans la boucle).

Donc $V_{p+1} = n - (i + 1) + 1 = n - i + 1 - 1 = n - i$ Comme $i \leq n$, on a bien $V_{p+1} \geq 0$.

Par récurrence, on a montré que le variant est toujours positif.

Montrons que le **variant décroît strictement**. On $V_{p+1} = n' - i' + 1 = n - i + 1 - 1 = (n - i + 1) - 1 = V_p - 1$. On a bien $V_{p+1} < V_p$.

On a donc montré la terminaison de la boucle.

Remarque : Dans la formulation initiale du R1, j'avais oublié la propriété $\{n \geq 0\}$. Elle était bien sûr implicite. Essayer de montrer que le variant était toujours positif m'a permis de penser à l'expliciter.

Montrons maintenant que l'**invariant est toujours vrai**. On utilise aussi une récurrence sur le nombre p de passage dans la boucle.

Avant le premier passage, on a $\sum_{j=0}^{i-1} j = \sum_{j=0}^0 j = 0$ et on a $\text{somme} = 0$. Donc I_0 est vrai.

Supposons I_p vrai. On a donc : $\text{somme} = \sum_{j=0}^{i-1} j$

Montrons que I_{p+1} est vrai. Si on parle de I_{p+1} , c'est qu'on passe une nouvelle fois dans la boucle. On a donc : $i \geq n$.

Les valeurs de n , i et somme deviennent :

$$s' = s + i$$

$$i' = i + 1$$

$$n' = n$$

$$s' = \sum_{j=0}^{i-1} j + i \text{ par hypothèse de récurrence. } s' = \sum_{j=0}^i j \quad s' = \sum_{j=0}^{(i+1)-1} j \quad s' = \sum_{j=0}^{i'-1} j$$

Donc on a bien I_{p+1} .

Par récurrence, on montre donc que l'invariant est toujours vrai.

```

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version : Revision : 1.2
4  *  Objectif : Calculer la somme des n premiers entiers
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     int n;        /* valeur lue au clavier */
13     int i;        /* parcourir les entiers de 1 à n */
14     int somme;     /* somme des entiers de 0 à i */
15
16     /* saisir la valeur de n (sans contrôle) */
17     printf("Nombre_d'entiers:_:");
18     scanf("%d", &n);
19
20     /* calculer la somme des n premiers entiers */
21     somme = 0;
22     i = 1;
23     while (i <= n) {
24         /*{ Variant : n - i + 1 }*/
25         /*{ Invariant : somme =  $\sum_{j=1}^i j$  }*/
26         somme += i;
27         i++;
28     }
29
30     /* afficher la somme */
31     printf("La_somme_est:_:%d\n", somme);
32
33     return EXIT_SUCCESS;
34 }

```

Exercice 9 : Saisie contrôlée d'un numéro de mois

On souhaite réaliser la saisie du numéro d'un mois (compris entre 1 et 12) avec vérification. Le principe est que si la saisie est incorrecte, le programme affiche un message expliquant l'erreur de saisie et demande à l'utilisateur de resaisir la donnée.

9.1 Utiliser un **TantQue** pour réaliser la saisie contrôlée.

9.2 Généraliser l'algorithme au cas d'une saisie quelconque.

Solution :

```

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version : 1.1
4  *  Objectif : Saisir le numéro d'un mois avec contrôle
5  *****/

```

```

6
7 #include <stdio.h>
8 #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     int mois; /* le numéro du mois */
13
14     /* Saisir le numéro de mois */
15     printf("Numéro_du_mois:_");
16     scanf("%d", &mois);
17
18     /* Traiter les erreurs éventuelles */
19     while (mois < 1 || mois > 12) { /*{ mois incorrect }*/
20         /* Signaler l'erreur de saisie */
21         printf("Vous_devez_donner_un_numéro_compris_entre_1_et_12_!\n");
22
23         /* Saisir un nouveau numéro de mois */
24         printf("Numéro_du_mois:_");
25         scanf("%d", &mois);
26     }
27
28     /* Afficher le numéro saisi */
29     printf("Le_numéro_du_mois_est_donc_:%d\n", mois);
30
31     return EXIT_SUCCESS;
32 }

```

9.3.2 Répétition Répéter ... Jusqu'À

```

do {
    instruction;
    ...
} while (condition_continuation);

```

En C, il ne s'agit pas d'un **Répéter ... Jusqu'À** mais d'un **Répéter ... TantQue !**

Exercice 10 : Plusieurs sommes des n premiers entiers

Écrire un programme qui affiche la somme des n premiers entiers naturels, n étant un entier saisi au clavier. Le programme devra proposer la possibilité à l'utilisateur de recommencer le calcul pour un autre entier.

Solution : Le raffinement peut être décrit ainsi.

```

1 R0 : Afficher la somme des n premiers entiers avec possibilité de recommencer
2
3 R1 : Raffinage De « R0 »
4   | Répéter
5   | | Afficher la somme des n premiers entiers
6   | | Demander si l'utilisateur veut recommencer           reponse: out
7   | Jusqu'À réponse est non

```

Le raffinement de « Afficher la somme des n premiers entiers » a déjà été donné dans un exercice précédent. On peut donc directement en déduire l'algorithme.

```

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version  : 1.2
4  *  Objectif : Afficher la somme des n premiers entiers avec
5  *             possibilité de recommencer
6  *****/
7
8  #include <stdio.h>
9  #include <stdlib.h>
10
11 int main()
12 {
13     char reponse;      /* réponse de l'utilisateur */
14
15     do {
16         int n;         /* valeur lue au clavier */
17         int i;         /* parcourir les entiers de 1 à n */
18         int somme;     /* somme des entiers de 0 à i */
19         /* Notons qu'en C, il est possible de déclarer des
20          * variables en début de tout bloc. Ces variables
21          * n'existent bien sûr que dans ce bloc et ne peuvent pas
22          * être accédées de l'extérieur du bloc.
23          */
24
25         /*** Afficher la somme des n premiers entiers ***/
26
27         /* saisir la valeur de n (sans contrôle) */
28         printf("Nombre_d'entiers_:");
29         scanf("%d", &n);
30
31         /* calculer la somme des n premiers entiers */
32         somme = 0;
33         i = 1;
34         while (i <= n) {
35             /*{ Variant : n - i + 1 }*/
36             /*{ Invariant : somme =  $\sum_{j=0}^i j$  }*/
37             somme += i;
38             i++;
39         }
40
41         /* afficher la somme */
42         printf("La_somme_est_: %d\n", somme);
43
44         /*** Demander si l'utilisateur veut recommencer ***/
45         printf("Encore_(o/n)?");
46         scanf("%c", &reponse);
47
48     } while (reponse != 'n' && reponse != 'N');
49

```

```

50     return EXIT_SUCCESS;
51 }

```

Exercice 11 : Saisie contrôlée d'un numéro de mois

On souhaite réaliser la saisie du numéro d'un mois (compris entre 1 et 12) avec vérification. Le principe est que si la saisie est incorrecte, le programme affiche un message expliquant l'erreur de saisie et demande à l'utilisateur de resaisir la donnée.

On utilisera un **Répéter** pour réaliser la saisie contrôlée.

Généraliser l'algorithme au cas d'une saisie quelconque.

Solution :

```

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version  : 1.1
4  *  Objectif : Saisir le numéro d'un mois avec contrôle
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     int mois; /* le numéro du mois */
13
14     do {
15         /* Saisir le numéro de mois */
16         printf("Numéro_du_mois:_");
17         scanf("%d", &mois);
18
19         if (mois < 1 || mois > 12) { /*{ mois incorrect }*/
20             /* Signaler l'erreur de saisie */
21             printf("Vous_devez_donner_un_numéro_compris_entre_1_et_12_!\n");
22
23             /* Indiquer qu'une nouvelle saisie doit être réalisée */
24             printf("Réessayez_!\n");
25         }
26
27     } while (mois < 1 || mois > 12);
28
29
30     /* Afficher le numéro saisi */
31     printf("Le_numéro_du_mois_est_donc_:_%d\n", mois);
32
33     return EXIT_SUCCESS;
34 }

```

9.3.3 Répétition Pour

```

for (initialisation; condition; incrémentation) {

```



```

    instruction;
    ...
}

```

Le **for** de C est plus général (et plus dangereux) que le **Pour** algorithmique. En effet, la condition (de continuation) est évaluée à chaque étape et l'incrémentaion est une instruction quelconque. En particulier, on perd la garantie de terminaison du **Pour** algorithmique.

Le **for** de C n'est en fait qu'un **while** qui regroupe sur une même ligne (dans les parenthèses), l'initialisation, la condition de continuation et le passage au suivant.

```

{ /* réécriture du for à l'aide du while */
  initialisation; /* initialisation */
  while (condition) { /* condition de continuation */
    instruction; /* traitement */
    ...
    incrémentaion; /* incrémentaion */
  }
}

```

Conseil : Conserver la sémantique du **Pour** algorithmique : on sait à l'avance combien de fois la boucle doit être exécutée.

Exercice 12 : Somme des premiers entiers

Calculer la somme des n premiers entiers.

Solution :

```

1  /*****
2  *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
3  *  Version  : 1.1
4  *  Objectif : Calculer la somme des n premiers entiers
5  *****/
6
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 int main()
11 {
12     int n; /* valeur lue au clavier */
13     int i; /* parcourir les entiers de 1 à n */
14     int somme; /* somme des entiers de 0 à i */
15
16     /* saisir la valeur de n (sans contrôle) */
17     printf("Nombre_d'entiers:_:_");
18     scanf("%d", &n);
19
20     /* calculer la somme des n premiers entiers */
21     somme = 0;
22     for (i = 1; i <= n; i++) {
23         /*{ Variant : n - i + 1 }*/
24         /*{ Invariant : somme = \sum_{j=1}^i j }*/
25         somme += i;
26     }

```

```
27
28     /* afficher la somme */
29     printf("La_somme_est_:_%d\n", somme);
30
31     return EXIT_SUCCESS;
32 }
```

9.3.4 Quelle répétition choisir ?