Les bases : exercices résolus
Corrigé

Objectifs

- Raffiner des problèmes simples ;
- Écrire quelques algorithmes simples ;
- Savoir utiliser les types de base ;
- Savoir utiliser les instructions « élémentaires » : d'entrée/sortie, affichage, bloc...
- Manipuler les conditionnelles ;
- Manipuler les répéritions.

Exercice 1 : Conversion pouce/centimètre

Écrire un programme qui réalise la conversion pouce/centimètre d'une longueur saisie au clavier. Une longueur sera saisie comme un nombre réel suivi d'un caractère précisant l'unité. Les unités possibles sont le pouce (p), le centimètre (c) ou le mètre (m). Le programme affichera la longueur exprimée en pouce et en centimètre.

Voici des exemples d'exécution du programme :

```
Entrez une longueur : 1p
1 p = 2.54 cm

Entrez une longueur : 2m
78.7402 p = 200 cm

Entrez une longueur : 2km
0 p = 0 cm
```

Comment faut-il modifier le programme pour permettre la saisie de l'unité aussi bien en minuscules qu'en majuscules ?

Solution :

R0 : Afficher une longueur saisie au clavier en pouces et en centimètres

Nous reprenons les jeux de test proposés dans le sujet. Nous ajoutons un jeu de test qui consiste à saisir une unité en centimètres. Par exemple, 5.08 cm qui doit donner 1 p = 5.08 p.

Lorsque l'on regarde les résultats d'exécution donnés dans le sujet (et qui servent donc de spécification pour le programme à écrire), on constate que, quelle que soit l'unité utilisée pour saisir la longueur, il faut afficher d'abord la longueur en pouces, puis son équivalent en centimètres. En conséquence, on en déduit qu'il faut calculer les deux longueurs (une dans chaque unité). Ainsi, après saisi de la longueur de l'utilisateur, nous allons la convertir dans les deux unités puis afficher la ligne d'équivalence.

```
R1 : Raffinage De « Afficher une longueur saisie au clavier... »
  | Saisir la longueur          valeur: out Réel ; unité: out Caractère
  | Calculer la longueur en pouces et en centimètres
                                valeur, unité : in
                                lg_p  : out Réel -- longueur en pouces
                                lg_cm : out Réel -- longueur en centimètres
  | Afficher le résulat         lg_p, lg_cm : in
```

La seule étape délicate est la deuxième. Calculer les longueurs en pouces et en centimètres dépend de l'unité saisie par l'utilisateur. Il s'agit donc d'utiliser une conditionnelle et plus précisément de faire un traitement par cas. Puisque l'unité est un caractère, donc un type scalaire, nous pouvons utiliser un **Selon**.

Remarque : Pour traiter le cas des majuscules, il suffit d'ajouter le cas majuscule à côté du cas minuscule correspondant.

On aurait également pu convertir la longueur saisie en minuscule avant de calculer les longueurs en pouces et centimètres.

Remarque : On aurait également pu utiliser des **Si** et **SinonSi**. Cependant, la structure du programme est plus claire en utilisant un **Selon**. Ceci est d'autant plus vrai si l'on traite également les majuscules.

Voici le raffinage correspondant.

```
R2 : Raffinage De « Calculer la longueur en pouces et en centimètres »
  | Selon unité Dans
  |     'p', 'P':       { la longueur a été saisie en pouces }
  |         lg_p ← valeur
  |         lg_cm ← lg_p * UN_POUCE
  |
  |     'c', 'C':       { la longueur a été saisie en centimètres }
  |         lg_cm ← valeur
  |         lg_p ← lg_cm / UN_POUCE
  |
  |     'm', 'M':       { la longueur a été saisie en mètres }
  |         lg_cm ← valeur * 100
  |         lg_p ← lg_cm / UN_POUCE
  |
  | Sinon               { Unité non reconnue }
  |     lg_p ← 0
  |     lg_cm ← 0
  | FinSelon
```

Notons que nous avons utilisé une constante symbolique (UN_POUCE) plustôt qu'une constante littéralle (2,54). L'intérêt est d'avoir un programme plus lisible et d'éviter la redondance (si on

se trompe sur la valeur d'un pouce en centimètres il suffit de faire un seule changement pour corriger le programme dans le cas de la constante symbolique contre trois sinon).

```
Algorithme pouce2cm

    -- Afficher une longueur saisie au clavier en pouces et en centimètres.

Constantes
    UN_POUCE = 2.54      -- valeur en centimètres d'un pouce
Variables
    valeur: Réel         -- valeur de la longueur lue au clavier
    unité: Caractère     -- unité de la longueur lue au clavier
    lg_cm: Réel          -- longueur exprimée en centimètres
    lg_p: Réel           -- longueur exprimée en pouces

Début
    -- saisir la longueur (valeur + unité)
    Écrire ("Entrer une longueur (valeur + unité) : ")
    Lire (valeur)                -- saisir la valeur
    Lire (unité)                 -- saisir l'unité

    -- calculer la longueur en pouces et en centimètres
    Selon unité Dans
        'p', 'P':        { la longueur a été saisie en pouces }
            lg_p ← valeur
            lg_cm ← lg_p * UN_POUCE

        'c', 'C':        { la longueur a été saisie en centimètres }
            lg_cm ← valeur
            lg_p ← lg_cm / UN_POUCE

        'm', 'M':        { la longueur a été saisie en mètres }
            lg_cm ← valeur * 100
            lg_p ← lg_cm / UN_POUCE

    Sinon                { Unité non reconnue }
        lg_p ← 0
        lg_cm ← 0
    FinSelon

    -- afficher le résulat
    ÉcrireLn (lg_p, " p = ", lg_cm, " cm")
Fin

/*****************************************************************
 *  Auteur  : Xavier CRÉGUT
 *  Version : 1.3
 *  Objectif : Conversion pouces/centimètres
 *
 *  Remarque : Le sujet n'est pas entièrement respecté car la partie
 *  décimale est affichée même si elle est nulle !
 *****************************************************************/
```

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

#define UN_POUCE        2.54    /* Valeur de 1 pouce en centimètres */

int main()
{
    double valeur;      /* valeur lue au clavier */
    char unite; /* unité lue au clavier */
        /* valeur et unité forment la longueur */
    double p;   /* longueur lue au clavier convertie en pouces  */
    double cm;  /* longueur lue au clavier convertie en centimètres */

    /* Saisir la longueur */
    printf("Entrez une longueur : ");
    scanf("%lf %c", &valeur, &unite);
        /* Remarque : l'espace devant %c est important : il permet de
         * sauter les caractères blancs.  C'est ce qui autorise par exemple
         * à saisir la longueur sous la forme « 12 p ».
         */

    /* Calculer la longueur en pouces et en centimètres */
    switch (unite) {
        case 'p':
        case 'P':               /* longueur saisie en pouces */
            p = valeur;
            cm = valeur * UN_POUCE;
            break;

        case 'm':
        case 'M':               /* longueur saisie en mètres */
            p = 100 * valeur / UN_POUCE;
            cm = 100 * valeur;
            break;

        case 'c':
        case 'C':               /* longueur saisie en centimètres */
            p = valeur / UN_POUCE;
            cm = valeur;
            break;

        default:
            p = cm = 0;
    }

    /* Afficher les résultats */
    printf("%1.4f p = %1.4f cm\n", p, cm);

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Voici une version qui tient compte de la particularité du **switch**. Attention, cet exemple n'est donné que pour que vous compreniez bien le fonctionnement du **switch** mais il faut éviter d'avoir un cas qui ne se termine pas par un **break**. En effet, l'habitude étant de mettre un **break**, le lecteur ne verra pas nécessairement son absence. D'autre part, ceci signifie que pour le cas « 'c' », il y deux points d'entré, le premier évident si l'unité vaut 'c' le second, moins facile à voir, si l'unité vaut 'm'. Si l'on change les instructions du cas 'c', il faudra bien vérifier qu'elles restent cohérentes pour les deux points d'entrée !

```
/*****************************************************************
 *  Auteur  : Xavier CRÉGUT
 *  Version : 1.1
 *  Objectif : Conversion pouces/centimètres
 *
 *  Remarque : Le sujet n'est pas entièrement respecté car la partie
 *  décimale est affichée même si elle est nulle !
 *****************************************************************/

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

#define UN_POUCE        2.54    /* Valeur de 1 pouce en centimètres */

int main()
{
    double valeur;      /* valeur lue au clavier */
    char unite; /* unité lue au clavier */
        /* valeur et unité forment la longueur */
    double p;   /* longueur lue au clavier convertie en pouces  */
    double cm;  /* longueur lue au clavier convertie en centimètres */

    /* Saisir la longueur */
    printf("Entrez une longueur : ");
    scanf("%lf %c", &valeur, &unite);
        /* Remarque : l'espace devant %c est important : il permet de
         * sauter les caractères blancs.  C'est ce qui autorise par exemple
         * à saisir la longueur sous la forme « 12 p ».
         */

    /* Calculer la longueur en pouces et en centimètres */
    switch (unite) {
        case 'p':
        case 'P':               /* longueur saisie en pouces */
            p = valeur;
            cm = valeur * UN_POUCE;
            break;

        case 'm':
        case 'M':               /* longueur saisie en mètres */
            valeur = valeur * 100;
            /* on continue en exécutant les instructions du cas 'c'     */
            /* Attention : ceci est possible, correct mais dangereux !  */
```

```
            case 'c':
            case 'C':                /* longueur saisie en centimètres */
                p = valeur / UN_POUCE;
                cm = valeur;
                break;

            default:
                p = cm = 0;
        }

        /* Afficher les résultats */
        printf("%1.4f p = %1.4f cm\n", p, cm);

        return EXIT_SUCCESS;
    }
```

Exercice 2 : Quelques statistiques

L'objectif de cet exercice est de calculer quelques statistiques sur une série de valeurs réelles. Cette série est lue au clavier. On considère qu'elle se termine par la valeur nulle (0) qui ne fait pas partie de la série.

2.1 Écrire un programme qui détermine la moyenne de la série de valeurs.

Solution : Pour calculer la moyenne, j'ai besoin de la somme des valeurs et du nombre de valeurs. On peut donc en déduire les deux variables d'accumulation suivantes :

```
Variables
    nb: Entier  -- le nombre de valeurs lues de la série
    somme: Réel -- la somme des valeurs lues de la série
```

Les premiers niveaux de raffinage peuvent être présentés ainsi :

```
R0 : Afficher la moyenne d'une série de valeurs réelles

R1 : Raffinage De « Afficher la moyenne d'une série de valeurs réelles »
      | Déterminer le nb d'éléments dans la série et leur somme
      | Afficher le résultat

R2 : Raffinage De « Déterminer le nb d'éléments dans la série et leur somme »
      | Initialiser : somme ← 0 et nb ← 0
      | Saisir le premier réel x
      | TantQue x <> 0 Faire
      |   | Mettre à jour les variables somme et nb en fonction de x
      |   | Saisir le réel suivant x
      | FinTQ

R2 : Raffinage De « Afficher le résultat »
      | Si nb > 0 Alors
      |   | Afficher la moyenne = somme / nb
      | Sinon
      |   | Signaler moyenne impossible
      | FinSi
```

Remarque : On pouvait pas utiliser un **Pour** car on ne connait pas à priori le nombre de valeurs dans la série. Ceci dépend de l'utilisateur. C'est lui qui décide de saisir 0. On doit donc utiliser soit un **TantQue**, soit un **Répéter**.

Nous avons utilisé un **TantQue** car nous avons considéré « traiter une valeur » qui peut ne pas être exécutée (cas où l'utilisateur saisit tout de suite 0 pour indiquer que la série est vide).

Nous aurions également pu utiliser un **Répéter** en nous intéressant à la saisie d'un réel. L'utilisateur doit nécessairement saisir au moins un réel (une valeur de la série ou zéro). Notons que dans ce cas, il faut ensuite faire un test pour savoir si le réel saisi fait partie de la série et, dans l'affirmative, le comptabiliser.

Voici le raffinage correspondant.

```
Initialiser les variables statistiques avec x
Répéter
  | Saisir un réel              x: out
  | Si x <> 0 Alors     { x est une valeur de la série }
```

```
  |   | Mettre à jour les variables statistiques
  | FinSi
Jusqu'à x = 0
```

On remarque que dans le cas du **TantQue** on dublique une instruction (la saisie d'un réel) et dans le cas du **Répéter** on dublique un condition.

L'algorithme peut ensuite être le suivant :

```
Algorithme statistiques_simples_moyenne

    -- Afficher la moyenne d'une série de valeurs réelles lues au clavier.
    -- La série est terminée par zéro qui n'appartient pas à la série.

Variables
    x: Réel     -- un réel lu au clavier
    nb: Entier  -- le nombre de valeurs dans la série
    somme: Réel -- la somme des valeurs lues de la série

Début
    -- Déterminer le nb d'éléments dans la série et leur somme
    -- Initialiser les variables
    somme ← 0   -- pas encore d'éléments lus
    nb ← 0
    -- Saisir le premier réel
    Lire(x)
    -- Traiter les éléments de la série
    TantQue x <> 0 Faire
        -- Mettre à jour les variables somme et nb en fonction de x
        somme ← somme + x
        nb ← nb + 1

        -- Saisir le réel suivant
        Lire(x)
    FinTQ

    -- Afficher le résultat
    Si nb > 0 Alors                    { La moyenne a un sens }
        -- Afficher la moyenne
        ÉcrireLn("Moyenne = ", somme / nb)
    Sinon                              { La moyenne n'a PAS de sens }
        -- Signaler moyenne impossible
        ÉcrireLn("La série est vide.  La moyenne n'existe donc pas !")
    FinSi
Fin.
```

2.2 En plus de la moyenne, on veut connaître la plus petite et la plus grande valeur de la série.

Solution : Pour calculer la plus grande et la plus petite valeur, je pourrais procéder comme pour la moyenne en identifiant les deux variables min et max.

```
Variables
    min: Réel   -- la plus petite des valeurs lues de la série
    max: Réel   -- la plus grande des valeurs lues de la série
```

Le problème est de savoir avec quelle valeur intialiser max et min. Particulariser une valeur est toujours dangereux. Le mieux est donc de les initialiser avec la première valeur de la série... à condition que cette valeur existe. Le test de la série vide n'est donc plus fait *a posteriori mais a priori*.

Les premiers niveaux de raffinage sont alors :

```
R0 : Afficher des statistiques sur une série de valeurs réelles

R1 : Comment « Afficher des statistiques sur une série de valeurs réelles »
     | Saisir la première valeur x
     | Si x est nulle Alors
     |   | Indiquer que les statistiques demandées ne peuvent pas être faites
     | Sinon
     |   | Initialiser les variables statistiques avec x
     |   | Saisir une nouvelle valeur x
     |   | TantQue x est NON nulle Faire
     |   |   | Mettre à jour les variables statistiques
     |   |   | Saisir une nouvelle valeur x
     |   | FinTQ
     |   | Afficher les statistiques
     | FinSi
```

L'algorithme peut ensuite être le suivant :

```
Algorithme statistiques_simples_max

    -- Afficher la moyenne, la plus grande et la plus petite valeur d'une série de val
    -- réelles lues au clavier.
    -- La série est terminée par zéro qui n'appartient pas à la série.

Variables
    x: Réel     -- un réel lu au clavier
    nb: Entier  -- le nombre de valeurs lues de la série
    somme: Réel -- la somme des valeurs lues de la série
    min: Réel   -- la plus petite des valeurs lues de la série
    max: Réel   -- la plus grande des valeurs lues de la série

Début
    -- Saisir le premier réel x
    Lire(x)

    Si x = 0 Alors
        -- Indiquer que les statistiques demandées ne peuvent pas être faites
        ÉcrireLn("La série est vide.");
        ÉcrireLn("Les statistiques demandées n'ont pas de sens !")
    Sinon
        -- Initialiser les variables statistiques avec x
        max ← x
        min ← x
        somme ← x
        nb ← 1
```

```
        -- Saisir une nouvelle valeur x
        Lire(x)

        TantQue x <> 0 Faire
            -- Mettre à jour les variables statistiques
            nb ← nb + 1
            somme ← somme + x
            Si x > max Alors
                max ← x
            SinonSi x < min Alors
                min ← x
            FinSi

            -- Saisir une nouvelle valeur x
            Lire(x)
        FinTQ

        -- Afficher les statistiques
        ÉcrireLn("Moyenne = ", somme / nb)
        ÉcrireLn("Plus petite valeur = ", min)
        ÉcrireLn("Plus grande valeur = ", max)
    FinSi
Fin.
```

Les programmes C correspondants sont les suivants.

```
/*****************************************************************************
 *  Auteur  :  Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
 *  Version :  1.2
 *
 *  Objectif :
 *      Afficher la moyenne d'une série de valeurs réelles lues au clavier.
 *
 *****************************************************************************/

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

int main()
{
    double x;           /* un réel lu au clavier */
    int nb;             /* le nombre de valeurs lues de la série */
    double somme;       /* la somme des valeurs lues de la série */

    /* afficher la consigne */
    printf("Donnez une série d'entiers qui se termine par 0.\n");

    /* déterminer le nb d'éléments dans la série et leur somme */
    /*    initialiser les variables */
    somme = 0;          /* pas encore d'éléments lus */
    nb = 0;
```

```c
    /*    lire le premier réel */
    scanf("%lf", &x);

    /*    traiter les éléments de la série */
    while (x != 0) {
           /* mettre à jour les variables somme et nb en fonction de x */
           somme = somme + x;
           nb++;

           /* lire le réel suivant */
           scanf("%lf", &x);
    }

    /* afficher le résultat */
    if (nb > 0) {               /* La moyenne a un sens */
        /* afficher la moyenne */
        printf("Moyenne = %f\n", somme / nb);
    }
    else {                      /* La moyenne n'a PAS de sens */
        /* signaler moyenne impossible */
        printf("La série est vide.  La moyenne n'existe donc pas !\n");
    }

    return EXIT_SUCCESS;
}

/*
    1 2 3 0     -->     2
    2 -2 0      -->     0
    -4 -2 0     -->     -3
    13 0        -->     13
    0           -->     Non défini
*/

/*****************************************************************************
 *  Auteur  :  Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
 *  Version :  1.3
 *
 *  Objectif :
 *      Afficher la moyenne, la plus grande et la plus petite valeur
 *      d'une série de valeurs réelles lues au clavier.
 *
 *****************************************************************************/

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

int main()
{
    double x;           /* un réel lu au clavier */
    int nb;             /* le nombre de valeurs lues de la série */
    double somme;       /* la somme des valeurs lues de la série */
```

```c
    double min;         /* la plus petite des valeurs lues de la série */
    double max;         /* la plus grande des valeurs lues de la série */

    /* afficher la consigne */
    printf("Donnez une série d'entiers qui se termine par 0.\n");

    /* lire le premier réel */
    scanf("%lf", &x);

    if (x == 0) {       /* Pas de valeur dans la séries */
        printf("La série est vide. ");
        printf("Les statistiques demandées n'ont pas de sens !\n");
    }
    else {
        /* initialiser les variables statistiques avec x */
        max = x;
        min = x;
        somme = x;
        nb = 1;

        /* lire une nouvelle valeur x */
        scanf("%lf", &x);

        while (x != 0) {
            /* mettre à jour les variables statistiques */
            nb++;
            somme += + x;
            if (x > max) {
                max = x;
            }
            else if (x < min) {
                min = x;
            }

            /* lire une nouvelle valeur x */
            scanf("%lf", &x);
        }

        /* afficher les statistiques */
        printf("Moyenne = %f\n", somme / nb);
        printf("Plus petite valeur = %f\n", min);
        printf("Plus grande valeur = %f\n", max);
    }

    return EXIT_SUCCESS;
}

/*                      moyenne, min, max
    1 2 3 0     -->     2,      1,      3
    2 -2 0      -->     0,      -2,     2
    -4 -2 0     -->     -3,     -4,     -2
```

```
    13 0        -->     13,     13,     13
    0           -->     Non défini
*/
```

Exercice 3 : Division entière

Étant donnés deux entiers positifs lus au clavier, calculer le quotient et le reste de la division euclidienne du premier nombre par le deuxième. On utilisera uniquement l'addition et la soustraction sur les entiers.

Solution :

Remarque : En utilisant seulement l'addition et la soustraction, on ne peut pas utiliser une boucle **Pour**. Il faut donc choisir entre **TantQue** et **Répéter**.

```
Algorithme div_mod

    -- Calculer le quotient (div) et le reste (mod) de la division entière de
    -- deux entiers lus au clavier

Variables
    dividende: Entier    -- dividende lu au clavier, positif
    diviseur: Entier     -- diviseur lu au clavier, strictement positif
    reste: Entier        -- reste de la division entière
    quotient: Entier     -- quotient de la division entière

Début
    -- saisir le dividende et le diviseur avec contrôle
    ...

    -- calculer le quotient et le reste
    reste ← dividende
    quotient ← 0
    TantQue reste >= diviseur Faire
        { Variant : reste }
        { Invariant : diviseur * quotient + reste = dividende }
        quotient ← quotient + 1
        reste ← reste - diviseur
    FinTQ

    -- afficher le résultat
    ÉcrireLn(dividende, " / ", diviseur, " = ",
            quotient, " * ", diviseur, " + ", reste)
Fin.

--      5       2       -->     2 * 2 + 1
--      10      2       -->     5 * 2 + 0
--      5       0       -->     diviseur nul !

/*****************************************************************
 *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
 *  Version  : 1.3
 *  Objectif : Quotient et reste de la division entière
 *****************************************************************/

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

```c
/* Calculer le quotient (div) et le reste (mod) de la division entière
 * de deux entiers lus au clavier.
 */
int main()
{
    int dividende;      /* dividende lu au clavier, positif */
    int diviseur;       /* diviseur lu au clavier, strictement positif */
    int reste;          /* reste de la division entière */
    int quotient;       /* quotient de la division entière */

    /* saisir le dividende et le diviseur */
    do {
        printf("Dividende : ");
        scanf("%d", &dividende);
        printf("Diviseur : ");
        scanf("%d", &diviseur);

        /* Vérifier le dividende */
        if (dividende < 0) {
            printf("Le dividende doit être strictement positif.  ");
        }

        /* Vérifier le diviseur */
        if (diviseur <= 0) {
            printf("Le diviseur doit être strictement positif.  ");
        }

    } while (dividende < 0 || diviseur <= 0);

    /* calculer le quotient et le reste */
    reste = dividende;
    quotient = 0;
    while (reste >= diviseur) {
        /* Variant : reste */
        /* Invariant : diviseur * quotient + reste = dividende */
        quotient++;
        reste = reste - diviseur;
    }

    /*{ (reste < diviseur)  && (diviseur * quotient + reste == dividende) }*/

    /* afficher le résultat */
    printf("%d / %d = %d * %d + %d\n", dividende, diviseur,
            quotient, diviseur, reste);

    return EXIT_SUCCESS;
}

/*
5       2       --> 2 * 2 + 1
2       5       --> 0 * 5 + 2
```

```
10      2       --> 5 * 2 + 0
0       5       --> 0 * 5 + 0
-2      -2      --> dividende non positif, diviseur non > 0
-2      5       --> dividende non positif
5       -2      --> diviseur non strictement positif
5       0       --> Recommencez !
*/
```

Exercice 4 : Nombres premiers
Écrire un programme qui permet à son utilisateur de saisir une valeur entière et qui, en retour lui indique si c'est un nombre premier ou pas.
Solution : Il s'agit d'afficher si un nombre saisi par l'utilisateur est premier ou non.

```
R0 : Afficher si un nombre saisi est premier ou non
```

Pour ce qui concerne les jeux de test, on peut vérifier si le programme fonctionne sur les premiers nombres, par exemple de 1 à 20 ou de 1 à 100.

Le premier niveau de raffinage est classique. Il permet de clairement séparer la partie calcul de la partie interface homme/machine.

```
R1 : Raffinage De « Afficher si un nombre saisi est premier ou non »
  | Saisir un nombre                          n: out Entier
  | Déterminer si le nombre est premier       n: in ; premier: out Booléen
  | Afficher le résultat                      n, premier: in
```

Seule la deuxième étape mérite d'être détaillée. Un nombre premier est un nombre qui n'admet pas de diviseurs autres que 1 et lui-même. Nous allons en proposer plusieurs raffinements que nous allons comparer d'un point de vu performance (en nombre d'opérations arithmétiques).

Ainsi, étant donné un entier n, on peut regarder s'il est divisible par les entiers compris entre 2 et $n-1$. L'idée est d'essayer chaque entier. Si on trouve un diviseur le n n'est pas premier. Si on ne trouve pas de diviseur, n est premier. On se sert donc de la variable booléenne que l'on initialise à $VRAI$ et qui sera mise à faux dès que l'on trouve un diviseur. On pourrait donc l'écrire avec un **Pour**.

```
premier ← VRAI
Pour diviseur ← 1 JusquÀ diviseur = n-1 Faire
    Si diviseur est un diviseur de n Alors
        premier ← FAUX
    FinSi
FinPour
```

Ce qui s'écrit de manière équivalente :

```
premier ← VRAI
Pour diviseur ← 1 JusquÀ diviseur = n-1 Faire
    premier ← premier Et (diviseur est un diviseur de n)
FinPour
```

Si l'utilisation d'un **Pour** est possible, elle est cependant peu judicieuse. En effet, dès qu'on a trouvé un diviseur, on sait que le nombre n'est pas premier et il est inutile d'essayer d'autres diviseurs. Nous devons donc utiliser un **TantQue** ou un **Répéter**. Nous optons pour un **TantQue**.

Remarquons que nous avons en fait initialisé `premier` avec `n <> 1` pour tenir compte du fait que 1 n'est pas un nombre premier.

Voici le raffinage correspondant.

```
R2 : Raffinage De « Déterminer si un nombre est premier »
  | premier ←  n <> 1
  | diviseur ← 2
  | TantQue premier Et (diviseur < n - 1) Faire
```

```
|     premier ← Non diviseur est un diviseur de n
|     diviseur ← diviseur + 1
| FinTQ

R3 : Raffinage De « diviseur est un diviseur de n »
  | Résulat ← n Mod diviseur = 0
```

En fait, on sait qu'il n'est pas nécessaire de regarder les diviseurs au delà de $n/2$ car il ne peut pas y en avoir (trivial). On peut donc reformuler la condition du **TantQue**

```
| TantQue premier Et (diviseur <= n Div 2) Faire
```

Cette optimisation permet de réduire par 2 le nombre d'opérations. Cependant, on peut faire beaucoup mieux. En effet, si un nombre n'est pas premier il admet un diviseur et en fait au moins deux dont l'un au moins est inférieur ou égal à sa racine carrée.

```
| TantQue premier Et (diviseur <= racine carrée de n) Faire
```

Cette optimisation est bien meilleure que la précédente. En effet, si on considère un nombre premier supérieur à 10000, dans la version initiale, on doit considérer 10000 diviseurs, dans la première optimisation 5000 et seulement 100 dans la seconde.

On peut encore améliorer l'algorithme. En effet, si on sait que le nombre n'est pas divisible par 2, il est inutile d'essayer les diviseurs pairs (4, 6, 9, etc.). On peut se limiter aux diviseurs impairs (3, 5, 7, 9, 11...). Voici le raffinage correspondant.

```
R2 : Raffinage De « Déterminer si un nombre est premier »
  | Si n = 2 Alors
  |   premier ← VRAI
  | Sinon
  |   | premier ←  Non (2 divise n)
  |   | diviseur ← 3
  |   | TantQue premier Et (diviseur < racine carrée de n) Faire
  |   |     premier ← Non diviseur est un diviseur de n
  |   |     diviseur ← diviseur + 2
  |   | FinTQ
  | FinSi
```

Remarque : On pourrait se passer du **Si** en initialisant `premier` de la manière suivante :

```
premier = (n == 2) Ou ((n >= 3) Et (n Mod 2 <> 0))
```

Remarque : On utilise `i < n Div i` plutôt que `i * i < n` pour éviter les débordements liés à la multiplication (les entiers sont bornés).

Modifier le programme pour qu'il propose à l'utilisateur d'entrer une autre valeur à traiter ou d'arrêter le programme.

Solution : Le raffinage est le suivant :

```
R0 :  Indiquer si des entiers saisis au clavier sont premiers ou non

R1 :  Raffinage De « R0 »
      | Répéter
      |   | Saisir un entier
      |   | Indiquer le caractère premier de l'entier
```

```
        |  | Demander à l'utilisateur s'il veut continuer
        | JusquÀ réponse = 'n'
```

On peut en déduire le raffinage suivant :

```
Algorithme nb_premier

    -- Indiquer si un nombre est premier où non
    -- Possibilité de recommencer

Variables
    n: Entier           -- parcourir les entiers de 1 à max
    i: Entier           -- parcourir les diviseurs potentiels de n
    premier: Booléen    -- n est-il premier
    réponse: Caractère  -- réponse de l'utilisateur (o/n)

Début
    Répéter             -- analyser un nombre de l'utilisateur
        -- saisir le nombre
        ÉcrireLn ("J'indique si un nombre est premier")
        Écrire ("Le nombre : ")
        Lire (n)

        -- Déterminer si n est premier
        Si n <= 3 Alors
            premier ← n > 0             -- 0 n'est pas premier
        Sinon
            premier ← ((n mod 2) <> 0)  -- n Non divisible par 2
                    Et  ((n mod 3) <> 0)        -- n Non divisible par 3
            i ← 3
            TantQue premier Et (i < n Div i) Faire
                    -- n peut encore être premier
                    -- et il reste des diviseurs potentiels
                i ← i + 2
                premier ← (n mod i) <> 0        --  n Non divisible par i
            FinTQ
        FinSi

        -- afficher le résultat
        Si premier Alors
            ÉcrireLn ("OUI, ", n, " est premier")
        Sinon
            ÉcrireLn ("NON, ", n, " n'est pas premier")
        FinSi

        -- Demander à l'utilisateur si il veut continuer
        Écrire ("Encore un nombre (o/n) ? ")
        Lire (réponse)
    JusquÀ réponse = 'n'
Fin.
```

Voici une version naîve de ce programme.

```c
/*****************************************************************************
 *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
 *  Version  : 1.1
 *  Objectif : programme qui demande un entier et indique s'il est premier.
 *****************************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdbool.h>

int main()
{
    char rep;           /* réponse utilisateur */
    int nombre;         /* nombre saisi au clavier */
    bool premier;       /* est-ce que nombre est premier ? */
    int diviseur;       /* parcourir les diviseurs potentiels de nombre */

    do {
        /* saisir le nombre */
        printf("Entrez un nombre : ");
        scanf("%d", &nombre);

        /* déterminer si nombre est premier */
        premier =  nombre != 1;
        diviseur = 2;
        while (premier && diviseur < nombre - 1) {
            premier = nombre % diviseur != 0;
            diviseur++;
        }

        /* afficher le résultat */
        if (premier) {
            printf("premier");
        }
        else {
            printf("NON premier");
        }
        printf("\n");

        /* demander si l'utilisateur veut recommencez */
        printf("Recommencer (o/n) ? ");
        scanf(" %c", &rep);
    } while (rep != 'n');

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Voici la version optimisée.

```c
/*****************************************************************************
 *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
 *  Version  : Revision
 *  Objectif : programme qui demande un entier et indique s'il est premier.
```

```
 ******************************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <stdbool.h>

int main()
{
    char rep;           /* réponse utilisateur */
    int nombre;         /* nombre saisi au clavier */
    bool premier;       /* est-ce que nombre est premier ? */
    int diviseur;       /* parcourir les diviseurs potentiels de nombre */
    double limite;      /* le plus grand diviseur à essayer */

    do {
        /* saisir le nombre */
        printf("Entrez un nombre : ");
        scanf("%d", &nombre);

        /* déterminer si nombre est premier */
        premier = (nombre == 2)
                || (nombre >= 3 && (nombre % 2 != 0));
        diviseur = 3;
        limite = sqrt(nombre);
        while (premier && diviseur <= limite) {
            premier = nombre % diviseur != 0;
            diviseur += 2;
        }

        /* afficher le résultat */
        if (premier) {
            printf("premier");
        }
        else {
            printf("NON premier");
        }
        printf("\n");

        /* demander si l'utilisateur veut recommencez */
        printf("Recommencer (o/n) ? ");
        scanf(" %c", &rep);
    } while (rep != 'n');

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Exercice 5 : Nombres parfaits

Écrire un programme qui affiche tous les nombres parfaits compris entre 1 et 1000.

Un nombre parfait est un entier égal à la somme de ses diviseurs, lui exclu. Par exemple, 28 est un nombre parfait ($28 = 1 + 2 + 4 + 7 + 14$).

Solution :

```
R0 : Afficher les nombres parfaits compris entre 2 et Max, lu au clavier

R1 : Raffinage De « R0 »
      | Pour n ← 2 JusquÀ n = Max Faire
      |   | Si n est parfait Alors
      |   |   | Afficher n
      |   | FinSi
      | FinPour

R2 : Raffinage De « n est parfait »
      | Calculer la somme des diviseurs de n (autre que 1 et n)
      | Résultat ← n = somme des diviseurs

R3 : Raffinage De « Calculer la somme des diviseurs de n »
      | somme ← 0
      | Pour i ← 2 JusquÀ racine carrée de n Faire
      |   | Si i diviseur de n Alors
      |   |   | somme ← somme + i + (n Div i)
      |   | FinSi
      | FinPour
      | Si n est un carré parfait Alors
      |   | somme ← somme - racine carrée de n
      | FinSi
```

```c
/*****************************************************************************
 *  Auteur   : Xavier Crégut <cregut@enseeiht.fr>
 *  Version  : 1.1
 *  Objectif : Trouver les nombres parfaits
 *****************************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>


int main()
{
    int nombre;
    for (nombre = 2; nombre <= 1000000; nombre++) {
        int somme = 1;
        int borne = sqrt(nombre);
            /* si NB est diviseur alors (nombre / NB) est également
             * diviseur.  Pour trouver l'ensemble des diviseurs, il suffit
             * donc d'aller jusqu'à sqrt(nombre).
             */
```

```
            int diviseur;
            for (diviseur = 2; diviseur <= borne; diviseur++) {
                if (nombre % diviseur == 0) {
                    somme = somme + diviseur + nombre / diviseur;
                }
            }

            /* a-t-on compté deux fois le terme borne ?     */
            if (nombre == (borne * borne)) {        /* oui */
                somme -= borne;
            }

            if (nombre == somme) {
                printf("***** %i\n", nombre);
            }
        }

        return EXIT_SUCCESS;
    }

    /* Les premiers nombres parfaits sont : */
    /* 6 28 496 8128        */
```