TP Programmation C/C++

Les fonctions

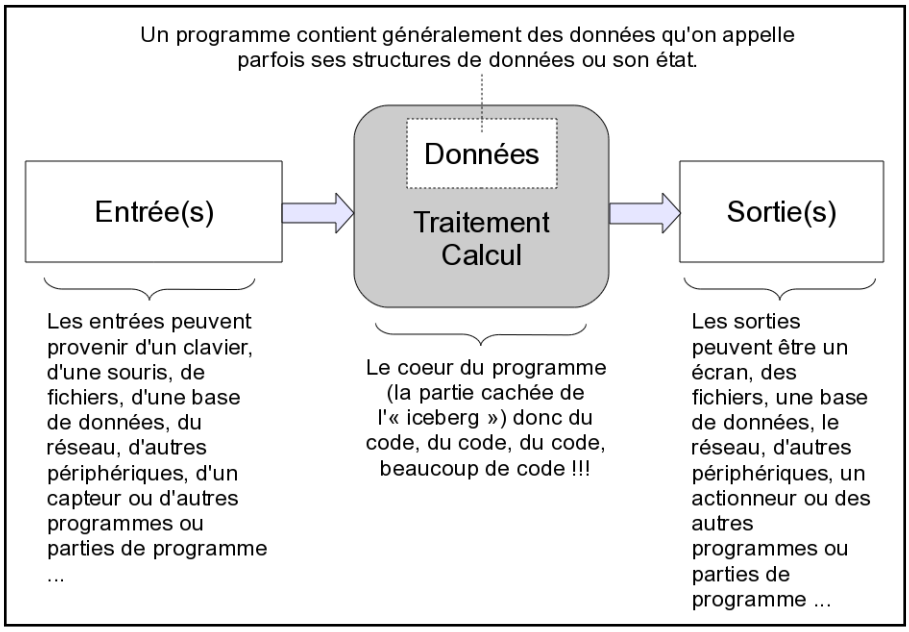
Éléments de cours

Sommaire

Les fonctions

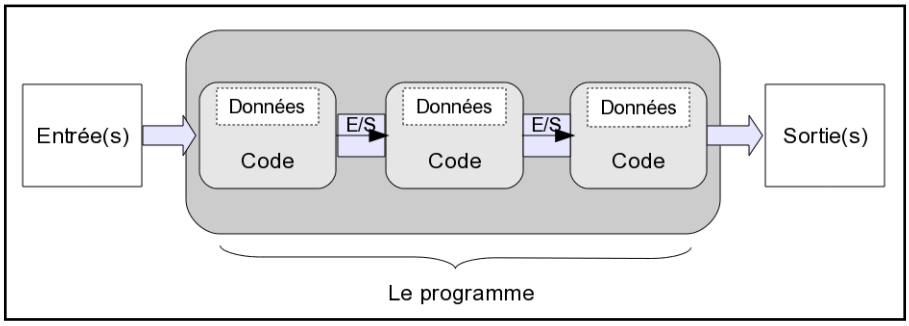
Programmation procédurale

D'un certain point de vue, un programme informatique ne fait jamais rien d'autre que **traiter des données**. Comme on l'a déjà vu, un programme accepte des entrées et produit des sorties :



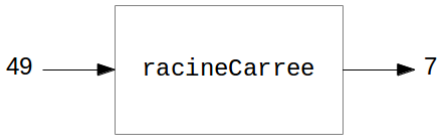
✍ *Un **traitement est tout simplement l'action de produire des sorties à partir d'entrées**. Les entrées dans une partie de programme sont souvent appelées des **arguments** (ou **paramètres**) et les sorties d'une partie de programme des **résultats**.*

La majeure partie du travail d'un programmeur est : comment exprimer un programme sous la forme d'un ensemble de parties (des sous-programmes) qui coopèrent et comment peuvent-elles partager et échanger des données ?



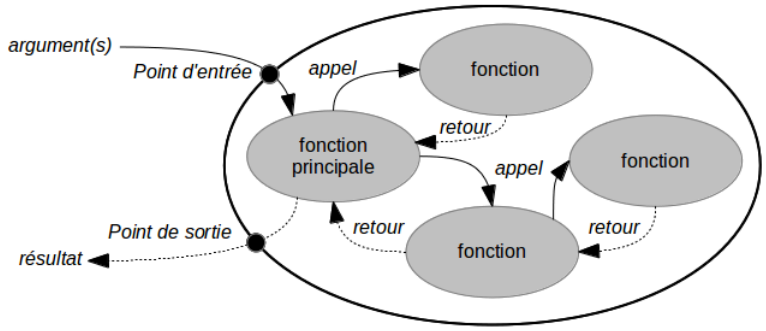
Par parties de programme (ou de code), on entend des entités (ou modules) comme une **fonction** produisant un résultat à partir d'un ensemble d'arguments en entrée.

☞ *Exemple : un traitement comme produire le résultat (sortie) 7 à partir de l'argument (entrée) 49 au moyen de la fonction `racineCarree`.*



En langage C, on pratique la **programmation procédurale**. La programmation procédurale se fonde sur le concept d'appel de **procédure**. Une procédure, aussi appelée **routine**, **sous-routine** ou **fonction**, contient simplement une série d'étapes à réaliser. Un **appel** de procédure (ou de fonction) déclenche l'exécution de la série d'instructions qui la compose.

En programmation procédurale, un programme n'est plus une simple séquence d'instructions mais un ensemble de sous-programmes (en C, des fonctions) s'appelant entre eux :



Le déroulement d'un programme est le suivant :

- L'exécution du programme commence toujours par l'exécution de la fonction principale (la fonction `main()` en C/C++)
- L'appel à une fonction permet de déclencher son exécution, en interrompant le déroulement séquentiel des instructions de la fonction principale
- Le déroulement des instructions de la fonction principale reprend, dès que la fonction appelée est terminée, à l'instruction qui suit l'appel

✍ *En C++, on aura la possibilité de développer un programme en* ***Programmation Orientée Objet*** *(POO).*

➠ Décomposer un programme en **fonctions** conduit souvent à diminuer la complexité d'un problème et permet de le résoudre plus facilement.

L'utilisation des fonctions permettra :

- d'éviter de répéter plusieurs fois les mêmes lignes de code : ceci simplifie le code, améliore la lisibilité et facilite la maintenance.
- de généraliser certaines parties de code : la décomposition en fonction permettra la réutilisation du code dans d'autres contextes (cf. bibliothèque logicielle).

On décomposera un programme en fonctions parce que procéder ainsi :

- rend le traitement distinct du point de vue logique
- rend le programme plus clair et plus lisible
- permet d'utiliser la fonction à plusieurs endroits dans un programme (à chaque fois qu'on en a besoin)
- facilitera les tests (on simulera des entrées et on comparera le résultat obtenu à celui attendu)

Bonnes pratiques :

- les programmes sont généralement plus facile à écrire, à comprendre et à maintenir lorsque chaque fonction réalise une SEULE ACTION logique et bien évidemment celle qui correspond à son nom ;
- on limitera la taille des fonctions à une valeur comprise entre **10 à 15 lignes maximum** ;
- les fonctions se concentrent sur le traitement qu'elles doivent réaliser et n'ont pas (la plupart du temps) à réaliser la saisie de leurs entrées et l'affichage de leur sortie. On évitera le plus possible d'utiliser des saisies et des affichages dans les fonctions pour permettre notamment leur ré-utilisation.

Fonction vs Procédure

➟ Il existe deux types de sous-programmes :
- Les **fonctions**
  - Sous-programme qui retourne **une et une seule valeur** : permet de ne récupérer qu'**un résultat**.
  - Par convention, ce type de sous-programme ne devrait pas interagir avec l'environnement (écran, utilisateur).
- Les **procédures**
  - Sous-programme qui ne retourne **aucune valeur** : permet de produire **0 à *n* résultats**
  - Par convention, ce type de sous-programme peut interagir avec l'environnement (écran, utilisateur).

✍ *Cette distinction ne se retrouve pas dans tous les langages de programmation ! Le C/C++ n'admet que le concept de fonction qui servira à la fois pour écrire des fonctions et des procédures.*

Pour les fonctions en C/C++, il faut distinguer :
- la **déclaration** qui est une instruction fournissant au compilateur un certain nombre d'informations concernant une fonction (qui déclare son existence). Il existe une forme recommandée dite **prototype** :

  `int plus(int, int);` ← fichier en-tête (`.h`)
- la **définition** qui revient à écrire le **corps** de la fonction (qui définit donc les traitements effectués dans le bloc {} de la fonction)

  `int plus(int a, int b) { return a + b; }` ← fichier source (`.c` ou `.cpp`)
- l'**appel** qui est son utilisation. Il doit correspondre à la déclaration faite au compilateur qui le vérifie.

  `int res = plus(2, 2);` ← fichier source (`.c` ou `.cpp`)

✍ *La définition d'une fonction tient lieu de déclaration. Mais elle doit être "connue" avant son utilisation (un appel). Sinon, le compilateur `gcc` génèrera un message d'avertissement (warning) qui indiquera qu'il a lui-même fait une déclaration implicite de cette fonction (ce n'est pas une bonne chose). Par contre, le compilateur `g++` génèrera une erreur : `'...' was not declared in this scope`.*

☞ *C/C++ supporte la **récursivité** : c'est une technique qui permet à une fonction de s'auto-appeler. La récursivité est une manière simple et élégante de résoudre certains problèmes algorithmiques, notamment en mathématique, mais cela ne s'improvise pas !*

Déclaration de fonction

Une fonction se caractérise par :

- son **nom** (un identificateur)
- sa **liste de paramètre(s)** : le nombre et le type de paramètre(s) (la liste peut être vide)
- son **type de retour** (un seul résultat)

✍ *Comme une procédure ne retourne aucune valeur, son type de retour sera `void`.*

Ces informations sont communément appelées le **prototype** de la fonction :

```
// Le prototype de la fonction calculeNombreDeSecondes :
int calculeNombreDeSecondes(int heures, int minutes, int secondes)

// Soit :
// - son nom : calculeNombreDeSecondes
// - sa liste de paramètre(s) : elle reçoit 3 int
// - son type de retour : int
```


C'est ce qu'il est nécessaire de connaître pour appeler une fonction.

Quand une fonction n'est pas encore définie, il est possible de **déclarer** son existence afin de pouvoir l'appeler. Il faut pour cela indiquer son prototype, suivi d'un point-virgule :

```
// La déclaration de la fonction calculeNombreDeSecondes :
int calculeNombreDeSecondes(int heures, int minutes, int secondes);
```

☞ *Les déclarations de fonction sont placées dans des fichiers d'en-tête (header) d'extension* `.h`. *Si vous voulez utiliser (i.e. appeler) une fonction, il faudra donc inclure le fichier d'en-tête correspondant (*`#include`*). Un fichier d'en-tête regroupe un ensemble de déclarations.*

```
#ifndef TEMPS_H /* si l'étiquette TEMPS_H n'est pas défini */
#define TEMPS_H /* alors on définit l'étiquette TEMPS_H */

int calculeNombreDeSecondes(int heures, int minutes, int secondes);

#endif /* finsi TEMPS_H */
```

Le fichier d'en-tête temps.h

☮ *Le langage C n'interdit pas l'inclusion multiple de fichiers d'en-tête mais il n'accepte pas toujours de déclarer plusieurs fois la même chose ! Par précaution, il faut donc s'assurer par des directives de pré-compilation (*`#ifndef`, `#define` *et* `#endif`*) que l'inclusion du fichier sera unique. Les directives de pré-compilation (ou préprocesseur) commencent toujours par un dièse (*`#`*). Ce ne sont donc pas des instructions du langage C.*

Si vous voulez utiliser (i.e. appeler) une fonction, il faudra donc inclure le fichier d'en-tête correspondant :

```
#include "temps.h"

// Vous pouvez maintenant utiliser (appeler) la fonction calculeNombreDeSecondes :
int s = calculeNombreDeSecondes(1, 0, 0);
```

☞ *Si vous créer vos propres fichiers d'en-tête, il est conseillé d'indiquer le nom du fichier entre guillemets (*`"temps.h"`*) dans la directive de pré-compilation* `#include`*. Vous pourrez indiquer le chemin où se trouve vos propres fichiers d'en-tête avec l'option* `-I` *du compilateur* `gcc/g++`*. On n'utilisera pas les délimiteurs* `<>` *(*`#include <stdio.h>`*) qui sont réservés pour les fichiers d'en-tête systèmes. Dans ce cas, le compilateur connaît les chemins d'installation de ces fichers.*

```
$ ls
main.c temps.c include/

$ ls include/
temps.h

$ gcc -I./include -c temps.c
$ gcc -I./include -c main.c
```


Définition de fonction

La **définition** d'une fonction revient à écrire le **corps** de la fonction dans le bloc `{}`. Cela définira la suite d'instructions qui sera exécutée à chaque appel de la fonction.

```
#include "temps.h"

// La définition de la fonction calculeNombreDeSecondes :
int calculeNombreDeSecondes(int heures, int minutes, int secondes)
{
   return ((heures*3600) + (minutes*60) + secondes);
}
```

Attention à ne pas mettre de point-virgule à la fin du prototype ! Si vous déclarer votre propre fonction, il vous faudra absolumment la définir si vous voulez passer l'étape de l'édition de lien (`ld`). Sinon, vous obtiendrez une erreur : `undefined reference`.

Pour que la fonction puisse effectivement retourner une valeur, il faut qu'elle contienne une instruction composée du mot-clé `return` et de la valeur que l'on veut retourner. L'instruction `return` quitte la fonction et transmet la valeur qui suit au programme appelant.

Dans le cas des fonctions dont le type de retour est `void`, il est également possible d'utiliser l'instruction `return`. Elle n'est alors suivie d'aucune valeur et a simplement pour effet de quitter la fonction immédiatement.

Appel de fonction

Un appel à une fonction signifie qu'on lui demande d'exécuter son traitement :

```
// Appel de la fonction calculeNombreDeSecondes :
int s = calculeNombreDeSecondes(1, 0, 0);
```

Soit la fonction `carre()` ci-dessous :

```
// Déclaration :
// Calcule et retourne le carré d'un nombre
int carre(int); // le nom du paramètre n'est pas obligatoire

// Définition :
// Calcule et retourne le carré d'un nombre
int carre(int x) // le nom du paramètre est obligatoire
{
   // le paramètre x est une variable locale à la fonction
   return x*x;
}
```

L'appel doit correspondre à la déclaration faite au compilateur qui le vérifie :

```
// Principe : on n'est pas obligé d'utiliser le résultat de retour mais on doit donner à la
    fonction exactement les arguments qu'elle exige

int c5 = carre(2); // Correct

int valeur = 2;
int c6 = carre(valeur); // Correct (valeur est copié dans x)
```

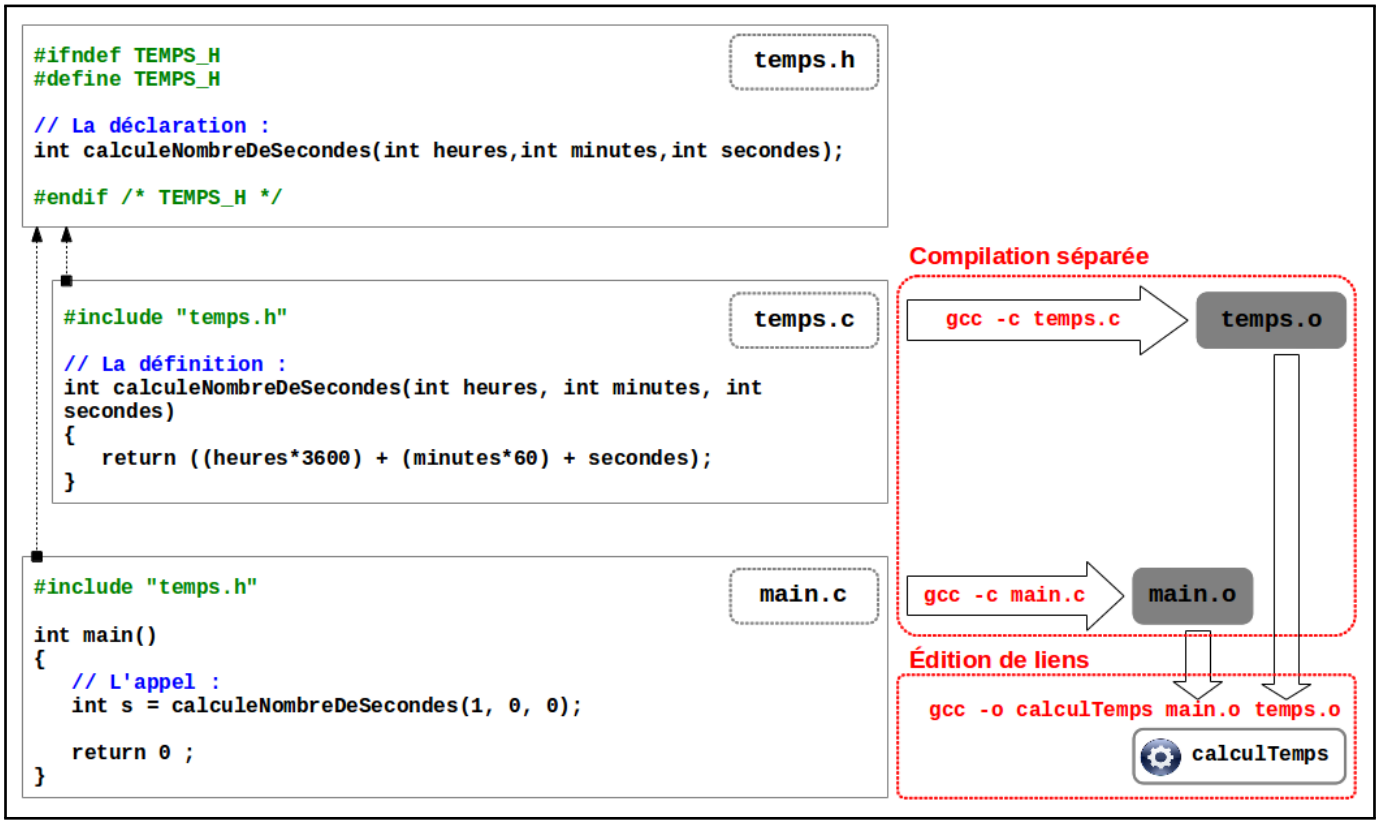


```c
// Mais on peut faire des erreurs :

int c1 = carre(); // Erreur : pas assez d'argument

int c2 = carre; // Erreur : parenthèses manquantes

int c3 = carre(1, 2); // Erreur : trop d'arguments

int c4 = carre("deux"); // Erreur : mauvais type d'argument car un int attendu

// Attention :
carre(2); // probablement une erreur car la valeur retour n'est pas utilisée

// Soyez vigilant :
int x = 2;
int c7 = carre(x); // Correct (x est copié dans x)
// après l'appel : x contient toujours 2 et c7 contient 4
```

Une fonction peut être utilisée :
– comme une **opérande** dans une expression, à partir du moment où il y a concordance de types ;
– comme une **instruction**.

Programmation modulaire

Le découpage en fonctions d'un programme permet la programmation modulaire :



Par la suite, un utilitaire comme `make` permettra d'automatiser la fabrication de programme. Il utilise un fichier de configuration appelé *makefile* qui porte souvent le nom de `Makefile`. Ce fichier décrit des

cibles (qui sont souvent des fichiers, mais pas toujours), de quelles autres cibles elles dépendent, et par quelles actions (des commandes) y parvenir. Au final, le fichier `Makefile` contient l'ensemble des règles de fabrication du programme :

```
CC=gcc
RM=rm

TARGET := calculTemps

all: $(TARGET)

main.o: main.c temps.h
	$(CC) -o $@ -c $<

temps.o: temps.c temps.h
	$(CC) -o $@ -c $<

$(TARGET): main.o temps.o
	$(CC) -o $(TARGET) $^

clean:
	$(RM) -f $(TARGET) *.o *~
```

Exemple de fichier Makefile

La fabrication de l'exécutable est assurée ensuite par l'utilitaire `make` :

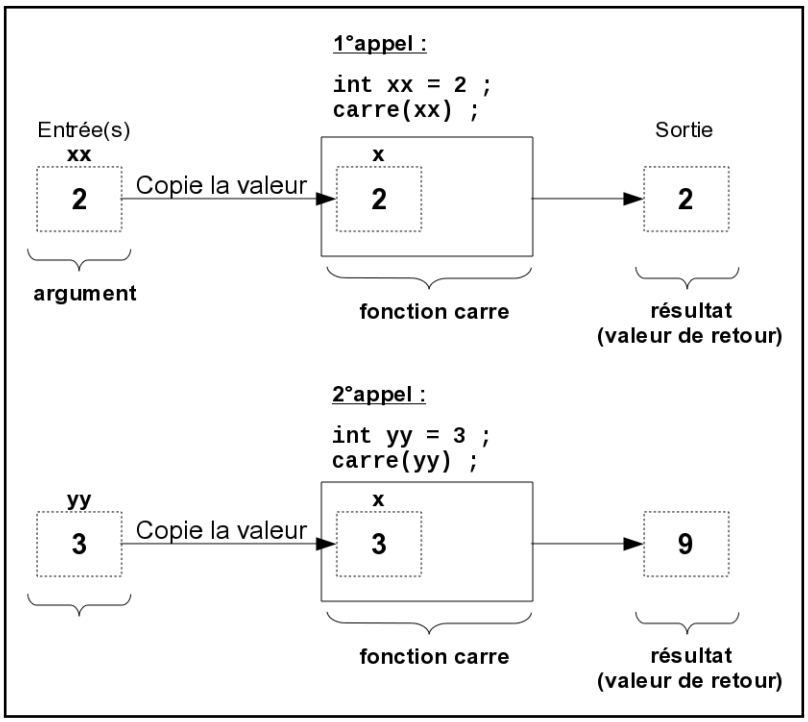
```
$ make
gcc -o main.o -c main.c
gcc -o temps.o -c temps.c
gcc -o calculTemps main.o temps.o

$ ./calculTemps
```

☞ *Avec son système de dépendance,* ***make*** *ne compile que ce qui est nécessaire. Lire :* *https://fr.wikipedia.org/wiki/Make*.

Passage de paramètre(s)

Passage par valeur

Lorsque l'on passe une valeur en paramètre à une fonction, cette valeur est copiée dans une variable locale de la fonction correspondant à ce paramètre. Cela s'appelle un **passage par valeur**.



Passage par valeur

✇ Dans un passage par valeur, il est impossible pour une fonction de modifier les paramètres qu'elle reçoit. Essayons de permuter deux variables :

```c
// Tente de permuter deux entiers
void permute(int a, int b)
{
   printf("avant [permute] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=5 et b=3
   int temp = a;
   a = b;
   b = temp;
   printf("après [permute] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=3 et b=5
}

int main()
{
   int a = 5, b = 3;

   printf("avant [main] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=5 et b=3
   permute(a, b);
   printf("après [main] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=5 et b=3

   return 0;
}
```

Passage par valeur

☞ *Les variables* `a` *et* `b` *sont locales au bloc* (`{}`) *où elles sont définies. Des variables définies dans des blocs différents peuvent porter le même nom.*

Passage par adresse

Pour permettre à une fonction de modifier les paramètres qu'elle reçoit, il faudra passer les adresses des variables comme paramètres. On utilise dans ce cas des pointeurs. Cela s'appelle un **passage par adresse** :

```
// Permute deux entiers
void permute(int *pa, int *pb)
{
   printf("avant [permute] : a=%d et b=%d\n", *pa, *pb); // affiche : a=5 et b=3
   int temp = *pa;
   *pa = *pb;
   *pb = temp;
   printf("après [permute] : a=%d et b=%d\n", *pa, *pb); // affiche : a=3 et b=5
}

int main()
{
   int a = 5, b = 3;

   printf("avant [main] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=5 et b=3
   permute(&a, &b); // passe l'adresse des variables a et b
   printf("après [main] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=3 et b=5

   return 0;
}
```

Passage par adresse

Le passage d'un **tableau** en paramètre d'une fonction est évidemment possible :

```
#include <stdio.h>

void raz(int t[], int n) /* équivalent à : void raz(int *t, int n) */
{
   int i;

   for(i=0;i<n;i++)
      t[i] = 0;
}

int main()
{
   int t[2] = { 2, 3 }; // 2 éléments

   printf("avant [main] : t[0] = %d et t[1] = %d\n", t[0], t[1]); // affiche t[0] = 2 et t
       [1] = 3
   raz(t, 2); // équivalent à : raz(&t[0], 2);
   printf("après [main] : t[0] = %d et t[1] = %d\n", t[0], t[1]); // affiche t[0] = 0 et t
       [1] = 0

   return 0;
}
```

Passage d'un tableau en paramètre d'une fonction

Le tableau passé en paramètre a bien été modifié car la fonction `raz()` à travailler avec l'adresse du tableau. Les cases du tableau n'ont pas été recopiées et la fonction accède au tableau original. On rappelle qu'il n'existe pas de variable désignant un tableau comme un tout. Quand on déclare `int t[2]`, `t` ne désigne pas l'ensemble du tableau mais l'adresse de la première case. `t` est une **constante de type pointeur** vers un `int` dont la valeur est `&t[0]`, l'adresse du premier élément du tableau.

☞ *C'est une très bonne chose en fait car dans le cas d'un "gros tableau", on évite ainsi de recopier toutes les cases. Le passage par adresse sera beaucoup plus efficace et rapide.*

Passage par référence

En **C++**, il existe aussi un **passage par référence** :

```
// Permute deux entiers
void permute(int &ra, int &rb)
{
   printf("avant [permute] : a=%d et b=%d\n", ra, rb); // affiche : a=5 et b=3
   int temp = ra;
   ra = rb;
   rb = temp;
   printf("après [permute] : a=%d et b=%d\n", ra, rb); // affiche : a=3 et b=5
}

int main()
{
   int a = 5, b = 3;

   printf("avant [main] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=5 et b=3
   permute(a, b);
   printf("après [main] : a=%d et b=%d\n", a, b); // affiche : a=3 et b=5
   return 0;
}
```

Passage par référence (C++)

☞ *Intérêt : lorsqu'on passe des variables en paramètre de fonctions et que le coût d'une recopie par valeur est trop important, on choisira un passage par référence. Si le paramètre ne doit pas être modifié, on utilisera alors un passage par référence sur une variable constante :*

```
void foo(const long double &a) // la référence est déclarée const
{
   printf("J'ai un accès en lecture : a = %.1Lf\n", a);
   printf("mais pas en écriture !\n");
   //a = 3.5; // interdit car déclarée const ! erreur: assignment of read-only reference 'a'
}

int main()
{
   long double a = 2.0;

   printf("Je suis une grosse variable de taille %d octets\n", sizeof(a)); // affiche Je
      suis une grosse variable de taille 12 octets
   printf("Je suis a et j'ai pour valeur : a = %.1Lf\n", a); // affiche Je suis a et j'ai
      pour valeur : a = 2.0
   foo(a);
```

```
   return 0;
}
```

Passage par référence constante (C++)

Valeur de retour

Par définition, une fonction fournit un **résultat**. Pour cela, on lui déclare un **type de retour** et on renvoie une valeur (du type déclaré) avec l'instruction **return**. Cette instruction provoque évidemment la sortie de la fonction appelée. La valeur de retour peut servir à **renvoyer un résultat** ou **un état sur l'exécution** de la fonction appelée.

Certains programmeurs utilisent donc la valeur de retour pour indiquer si la fonction a réalisé son traitement avec succès ou si elle a rencontré une erreur. C'est le cas de beaucoup de fonctions systèmes. On distingue différentes pratiques pour la convention du type de retour :

- valeur de retour de type booléen (`bool`) : `true` (succès) ou `false` (erreur)
- valeur de retour de type entière (`int`) : `0` (succès) ou `!=0` (un code d'erreur)
- valeur de retour de type entière (`int`) : `1` (succès) ou `<0` (un code d'erreur)

☮ Il ne faut jamais négliger ce type de code de retour lorsqu'on utilise une fonction. Prenons un exemple : vous appelez une fonction pour créer un répertoire (`man 2 mkdir`) puis une fonction pour copier un fichier dans ce répertoire. Si la création du répertoire échoue, cela ne sert à rien d'essayer de copier ensuite le fichier. La réussite (ou l'échec) de la première action conditionne l'exécution de la deuxième action. Si vous ne testez jamais les codes de retour de fonction, vous allez provoquer des cascades d'erreurs.

Dans certaines situations extrêmes, vous risquer d'avoir besoin de sortir immédiatement du programme quelque soit l'endroit où vous êtes. Vous pouvez utiliser la fonction `exit()` qui termine normalement un programme en indiquant une valeur de retour. Évidemment, la fonction `exit()` ne revient jamais.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit() */
#include <sys/stat.h> /* pour mkdir() */
#include <sys/types.h>

int main()
{
    mode_t mode = 0750;
    int retour;

    retour = mkdir("./dossier", mode); // Création d'un répertoire
    if(retour == -1) // Une erreur s'est-elle produite ?
    {
        // La fonction perror() affiche un message d'erreur décrivant la dernière erreur
           rencontrée durant un appel système ou une fonction de bibliothèque
        perror("mkdir");
        // Cela ne sert à rien de continuer, on quitte le programme en indiquant qu'on a
           rencontré une erreur
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    return EXIT_SUCCESS; // sortir de la fonction main() revient à quitter le programme
}
```

Quitter un programme

Cela donne :

```
$ gcc mkrep.c

$ ./a.out

$ ls -l
-rwxrwxr-x 1 tv tv 8,3K août 9 10:47 a.out*
drwxr-x--- 2 tv tv 4,0K août 9 10:47 dossier/
-rw-rw-r-- 1 tv tv 329 août  9 10:47 mkrep.c

$ ./a.out
mkdir: File exists
```

Nommer une fonction

Un nom de fonction est construit à l'aide d'un **verbe** (surtout pas un nom), et éventuellement d'éléments supplémentaires comme :
– une quantité
– un complément d'objet
– un adjectif représentatif d'un état

☞ *Une fonction est composée d'une série d'instructions qui effectue un traitement. Il faut donc utiliser un verbe pour caractériser l'action réalisée par la fonction.*

On utilisera la convention suivante : **un nom de fonction commence par une lettre minuscule puis les différents mots sont repérés en mettant en majuscule la première lettre d'un nouveau mot.**

Le verbe peut être au présent de l'indicatif ou à l'infinitif. L'adjectif représentatif d'un état concerne surtout les fonctions booléennes. La quantité peut, le cas échéant, enrichir le sens du complément.

Exemples : `void ajouter()`, `void sauverValeur()`, `estPresent()`, `estVide()`, `videAMoitieLeReservoir()`, ...

☮ *Les mots clés du langage sont interdits comme noms.*

Les noms des paramètres d'une fonction sont construits comme les noms de variables : ils commencent, notamment par une minuscule. L'ordre de définition des paramètres doit respecter la règle suivante :

`nomFonction(parametrePrincipal, listeParametres)`

où `parametrePrincipal` est la donnée principale sur laquelle porte la fonction, la `listeParametres` ne comportant que des données secondaires, nécessaires à la réalisation du traitement réalisé par la fonction.

Exemple : `ajouter(float mesures[], float uneMesure)`

Le rôle de cette fonction est d'ajouter une `mesure` à un ensemble de `mesures` (qui est la donnée principale) et non, d'ajouter un ensemble de `mesures` à une `mesure`.

✍ *Bonne pratique : L'objectif de la programmation procédurale est de décomposer un traitement de grande taille en plusieurs parties plus petites jusqu'à obtenir quelque chose de suffisamment simple à comprendre et à résoudre (cf. Descartes et son discours de la méthode). Pour cela, on va* ***s'obliger à limiter la taille de nos fonctions à une valeur comprise entre 10 à 15 lignes maximum*** *(accolades exclues).*

La fonction `main`

Tout programme C/C++ doit posséder une **fonction** nommée `main` (dite fonction principale) pour indiquer où commencer l'exécution. La fonction `main()` représente le point d'entrée (et de sortie) d'un programme exécuté par le "système" (c'est-à-dire le système d'exploitation).

```
// Forme simplifiée :
int main()
{

   return 0; // on doit retourner une valeur entière
}

// Forme normalisée :
int main(int argc, char **argv)
{

   return 0; // on doit retourner une valeur entière
}

int main(int argc, char *argv[])
{

   return 0; // on doit retourner une valeur entière
}
```

La fonction main()

➟ **Paramètres d'entrée :** la fonction `main()` reçoit deux paramètres (ils peuvent être ignorés) : un entier (`int`) qui précisera le nombre d'arguments passés au programme et un tableau de chaînes de caractères (`char **` ou `char *[]`) qui contiendra la liste de ses arguments.

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv)
{
   int i;

   printf("nb d'arguments = %d\n", argc);

   for(i=0;i<argc;i++)
      printf("argv[%d] = %s\n", i, argv[i]);

   //...

   return 0;
}
```

Les arguments d'un programme

Ce qui donne :

```
$ ./a.out les parametres du programme
nb d'arguments = 5
argv[0] = ./a.out
argv[1] = les
```



```
argv[2] = parametres
argv[3] = du
argv[4] = programme

$ ./a.out
nb d'arguments = 1
argv[0] = ./a.out
```

☞ *Il existe une fonction* ***getopt()*** *qui permet d'analyser plus facilement les options d'une ligne de commande (*`man 3 getopt`*).*

➟ **Valeur de retour :** la fonction `main()` doit retourner une valeur entière (`int`). Sur certains systèmes (Unix/Linux), elle peut servir à vérifier si le programme s'est exécuté correctement. Un zéro (`0`) indique alors que le programme s'est terminé avec succès (c'est une convention). Évidemment, une valeur différente de `0` indiquera que le programme a rencontré une erreur. Et sa valeur précisera alors le type de l'erreur. Sur un système Unix/Linux, la dernière valeur de retour reçue est stockée dans une variable `$?` du *shell*.

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv)
{
   // Exemple : on peut vérifier que l'on reçu le nombre suffisant d'arguments
   if (argc < 2)
      return 1;

   //...

   return 0;
}
```

La valeur de retour d'un programme

Ce qui donne :

```
$ ./a.out les parametres du programme

// Affichage de la valeur de retour
$ echo $?
0
// 0=succès

$ ./a.out

// Affichage de la valeur de retour
$ echo $?
1
// 1=erreur
```


Intérêt des fonctions par l'exemple

Pour présenter l'intérêt d'utiliser des fonctions, voici un exemple de programme en pseudo-code :

```
Variable prix : RÉEL
Variable quantité : ENTIER
Variable total_ttc : RÉEL = 0.00
Constante tva : RÉEL = 19.60

Début
   -- début des achats
   Ecrire "****************************************"

   -- achat de 3 articles à 10,50 euros HT chacun
   prix <- 10.50
   quantité <- 3
   total_ttc <- total_ttc + tva * ( prix * quantité )
   Ecrire "Sous-total TTC : " & total_ttc

   -- achat de 2 articles à 21,30 euros HT chacun
   prix <- 21.30
   quantité <- 2
   total_ttc <- total_ttc + tva * ( prix * quantité )
   Ecrire "Sous-total TTC : " & total_ttc

   -- achat d'1 article à 2,40 euros HT
   prix <- 2.40
   quantité <- 1
   total_ttc <- total_ttc + tva * ( prix * quantité )
   Ecrire "Sous-total TTC : " & total_ttc

   -- fin des achats
   Ecrire "****************************************"

   -- total des achats TTC
   Ecrire "################################"
   Ecrire "Total TTC : " & total_ttc
   Ecrire "################################"
Fin
```

➟ Pour les 3 achats de l'exemple, le calcul est répété à chaque fois. Ce qui n'est pas pratique pour la maintenance du code : si la formule n'est pas la bonne (une erreur est toujours possible) ou si la formule doit être modifiée (autre mode de calcul), il faudra changer le code en plusieurs endroits pour un même type de calcul.

On va donc créer une fonction qui calcule le prix TTC pour l'achat d'une certaine quantité d'articles, et le retourne au programme appelant :

```
const double tva = 19.6;

double calculePrixTTC(double prix, int quantite)
{
    return tva * (prix * quantite);
}
```

Celui-ci utilise le prix TTC retourné pour l'ajouter au total :


```
int main()
{
   double total_ttc = 0.;

   // ...
   total_ttc += calculePrixTTC(10.50, 3); // achat de 3 articles à 10,50 euros HT chacun
   // ...

   // ...
   total_ttc += calculePrixTTC(21.30, 2); // achat de 2 articles à 21,30 euros HT chacun
   // ...

   // ...
   total_ttc += calculePrixTTC(2.40, 1); // achat d'1 article à 2,40 euros HT
   // ...
}
```

➟ L'affichage des '*' et des dièses '#' pourrait lui aussi être factorisé en fonction. De manière naïve, on pourrait faire :

```
void afficher40Etoiles()
{
   for (i = 0; i < 40; i++)
   {
      printf("*");
   }
   printf("\n");
}

void afficher30Dieses()
{
   for (i = 0; i < 30; i++)
   {
      printf("#");
   }
   printf("\n");
}
```

On pourrait surtout améliorer le pseudo-code comme ceci :

```
...
Début
   ...
   Afficher 40 "*"
   Ecrire "Sous-total TTC : " & total_ttc
   ...
   Afficher 40 "*"
   ...
   Afficher 30 "#"
   Ecrire "Total TTC : " & total_ttc
   Afficher 30 "#"
Fin
```

On va donc créer une fonction paramétrable avec 2 arguments : le `caractere` à afficher et `nb` fois qu'il faut l'afficher :


```
void afficherCaracteres(char caractere, int nb)
{
   for (i = 0; i < nb; i++)
   {
      printf("%c", caractere);
   }
   printf("\n");
}

// Pour afficher les 40 étoiles :
afficherCaracteres('*', 40);

// Pour afficher les 30 dièses :
afficherCaracteres('#', 30);
```

Au final, on obtient le code source suivant :

```
#include <stdio.h>

const double tva = 19.6;

double calculePrixTTC(double prix, int quantite)
{
    return (1. + tva/100.) * (prix * (double)quantite);
}

void afficherCaracteres(char caractere, int nb)
{
   int i;

   for (i = 0; i < nb; i++)
   {
      printf("%c", caractere);
   }
   printf("\n");
}

void afficherTotalTTC(double total_ttc)
{
   afficherCaracteres('#', 30);
   printf("Total TTC : %.3f euros\n", total_ttc);
   afficherCaracteres('#', 30);
}

int main()
{
   double total_ttc = 0.;

   // début des achats
   afficherCaracteres('*', 40);

   // achat de 3 articles à 10,50 euros HT chacun
   total_ttc += calculePrixTTC(10.50, 3);
   printf("Sous-total TTC : %.2f euros\n", total_ttc);
```



```
   // achat de 2 articles à 21,30 euros HT chacun
   total_ttc += calculePrixTTC(21.30, 2);
   printf("Sous-total TTC : %.2f euros\n", total_ttc);

   // achat d'1 article à 2,40 euros HT
   total_ttc += calculePrixTTC(2.40, 1);
   printf("Sous-total TTC : %.2f euros\n", total_ttc);

   // fin des achats
   afficherCaracteres('*', 40);

   // total des achats TTC
   afficherTotalTTC(total_ttc);
}
```

➟ Le programme est maintenant plus simple à lire et à maintenir !

Surcharge de fonctions

Il est interdit en C de définir plusieurs fonctions qui portent le même nom. Mais c'est autorisé en **C++** si le compilateur peut différencier deux fonctions en analysant les paramètres qu'elle reçoit.

La **surcharge** (*overloading*) est une technique permettant de définir plusieurs fonctions qui portent le même nom si celles-ci ont des **signatures différentes**. La signature d'une fonction correspond au prototype **sans le type de retour**. Une surcharge de fonction est donc possible si les paramètres (leurs nombre et/ou leur type) sont différents :

```
// Retourne le minimum entre 2 entiers
int min(int val1, int val2)
{
   if(val1 <= val2)
      return val1;
   return val2;
}

// Surcharge : les types des paramètres sont différents
// Retourne le minimum entre 2 floattants
float min(float val1, float val2)
{
   if(val1 <= val2)
      return val1;
   return val2;
}

// Surcharge : le nombre de paramètres est différent
// Retourne le minimum entre 3 entiers
int min(int val1, int val2, int val3)
{
   int val = min(val1, val2);
   val = min(val, val3);
   return val;
}
```

Surcharge de fonctions (C++)

✇ La surcharge n'est pas possible en langage C. Elle est utilisable seulement en C++.

Paramètre par défaut

Le **C++**, mais pas le C, offre la possibilité d'affecter des **valeurs par défaut** aux paramètres d'une fonction. La syntaxe de la liste de paramètres sera alors la suivante :

`type variable [= valeur] [, type variable [= valeur] [...]]`

où `type` est le type du paramètre variable qui le suit et `valeur` sa valeur par défaut. La valeur par défaut d'un paramètre est la valeur que ce paramètre prend si aucune valeur ne lui est attribuée lors de l'appel de la fonction.

```
// Retourne la somme entre 2 entiers
int somme(int val1=0, int val2=0)
{
   return val1 + val2;
}

int main()
{
   int a = 5, b = 10;

   printf("%d\n", somme(a, b)); // affiche 15 car 10 + 5
   printf("%d\n", somme(b, a)); // affiche 15 car 5 + 10

   printf("%d\n", somme(a)); // affiche 5 car 5 + 0
   printf("%d\n", somme(b)); // affiche 10 car 10 + 0

   printf("%d\n", somme()); // affiche 0 car 0 + 0

   return 0;
}
```

Paramètre par défaut (C++)

✇ Les paramètres par défaut doivent être déclarés successivement de la droite vers la gauche. La fonction « `int somme(int val1=0, int val2) {...}` » est invalide, car si on ne passe pas deux paramètres, `val2` ne sera pas initialisé. Les paramètres par défaut n'existent pas en langage C, seulement en C++.

Fonctions `inline`

Le **C++** dispose du mot clé `inline`, qui permet de modifier la méthode d'implémentation des fonctions.

Placé devant la déclaration d'une fonction, il propose au compilateur de ne pas instancier cette fonction (notion de **macro**). Cela signifie que l'on désire que le compilateur remplace l'appel de la fonction par le code correspondant.

☞ Si la fonction est "grosse" ou si elle est appelée souvent, le programme devient **plus volumineux**, puisque la fonction est réécrite à chaque fois qu'elle est appelée. En revanche, il devient nettement **plus rapide**, puisque les mécanismes d'appel de fonctions, de passage des paramètres et de la valeur de retour sont ainsi évités.

✍ *En pratique, on réservera cette technique pour les "petites" fonctions appelées dans du code devant être rapide. Cela peut s'apparenter à de l'optimisation.*

Fonctions statiques

Par défaut, lorsqu'une fonction est définie dans un fichier C/C++, elle peut être utilisée dans tout autre fichier pourvu qu'elle soit déclarée avant son utilisation. Dans ce cas, la fonction est dite **externe** (mot-clé `extern`).

Il peut cependant être intéressant de définir des fonctions locales à un fichier, soit afin de résoudre des conflits de noms (entre deux fonctions de même nom et de même signature mais dans deux fichiers différents), soit parce que la fonction est uniquement d'intérêt local. Le C/C++ fournit donc le mot clé `static` qui, une fois placé devant la définition et les éventuelles déclarations d'une fonction, la rend unique et utilisable uniquement dans ce fichier. À part ce détail, les fonctions statiques s'utilisent exactement comme des fonctions classiques.

➟ Cas des variables :

Le mot clé `static`, placé devant le nom d'**une variable globale** (une variable déclarée en dehors de tout bloc `{}`), a le même effet que pour les fonctions statiques. On parle alors de variable globale cachée.

☮ Le mot clé `static`, placé devant le nom d'une **variable locale** (une variable déclarée dans un bloc `{}`), rend la variable persistante (la variable conserve sa valeur) entre chaque entrée dans le bloc.

```c
#include <stdio.h>

void compte()
{
    static int compteur = 0; // la variable compteur conservera sa valeur entre chaque appel

    ++compteur;
    printf("La fonction a été appelée : %d fois\n", compteur);
}

int main()
{
    compte();
    compte();
    compte();

    return 0;
}
```

Variable locale statique

On obtient :

```
$ ./a.out
La fonction a été appelée : 1 fois
La fonction a été appelée : 2 fois
La fonction a été appelée : 3 fois
```

Nombre variable de paramètres

En général, les fonctions ont un nombre constant de paramètres. Pour les fonctions qui ont des paramètres par défaut en C++, le nombre de paramètres peut apparaître variable à l'appel de la fonction, mais en réalité, la fonction utilise toujours le même nombre de paramètres.

Le C et le C++ disposent toutefois d'un mécanisme qui permet au programmeur de réaliser des fonctions dont le nombre et le type des paramètres sont variables. C'est le cas par exemple des fonctions `printf()` et `scanf()`.

Pour indiquer au compilateur qu'une fonction peut accepter une liste de paramètres variable, il faut simplement utiliser des points de suspensions dans la liste des paramètres dans les déclarations et la définition de la fonction :

`type identificateur(paramètres, ...)`

Dans tous les cas, il est nécessaire que la fonction ait au moins un paramètre classique. Les paramètres classiques doivent impérativement être avant les points de suspensions.

On utilisera le type `va_list` et les expressions `va_start`, `va_arg` et `va_end` pour récupérer les arguments de la liste de paramètres variable, un à un. Pour cela, il faudra inclure le fichier d'en-tête `stdarg.h`.

```c
#include <stdarg.h>

/* effectue la somme de compte flottants (float ou double) et la renvoie dans un double */
double somme(int compte, ...)
{
    double resultat = 0; /* Variable stockant la somme */
    va_list varg; /* Variable identifiant le prochain paramètre */

    va_start(varg, compte); /* Initialisation de la liste */

    /* Parcours de la liste */
    while (compte != 0)
    {
        resultat = resultat + va_arg(varg, double); /* récupère le prochain paramètre dans
            la liste */
        compte = compte-1;
    }

    va_end(varg);

    return resultat;
}

int main()
{
   double total = 0;

   total = somme(3, 1.5, 2.5, 5.); // 4 paramètres
   printf("%.1f\n", total); // affiche 9.0

   total = somme(2, 1.5, 2.5); // et maintenant 3 paramètres
   printf("%.1f\n", total); // affiche 4.0

   return 0;
}
```

Nombre variable de paramètres

Pointeur vers une fonction

Le **nom** d'une fonction est **une constante de type pointeur** :

```
// une fonction
int f(int x, int y)
{
   return x+y;
}

// un pointeur sur une fonction :
int (*pf)(int, int); // pf est un pointeur vers une fonction admettant 2 entiers en
    paramètres et retournant un entier

pf = f;          // pf pointe vers la fonction f

// appel :
printf("%d\n", (*pf)(3, 5)); // affiche 8
```

Pointeur sur une fonction

Conclusion

Il est indispensable de décomposer un traitement de grande taille en plusieurs parties plus petites jusqu'à obtenir quelque chose de suffisamment simple à comprendre et à résoudre. Cette approche consistant à décomposer une tâche complexe en une suite d'étapes plus petites (et donc plus facile à gérer) ne s'applique pas uniquement à la programmation et aux ordinateurs. Elle est courante et utile dans la plupart des domaines de l'existence.

Descartes (mathématicien, physicien et philosophe français) dans le *Discours de la méthode* :

> « *diviser chacune des difficultés que j'examinerais, en autant de parcelles qu'il se pourrait, et qu'il serait requis pour les mieux résoudre.* »

