

Compléments de programmation et d'algorithmique

Cours 1:
Introduction
Langage C

J. Roland



Quantum Information & Communication

1 Introduction

- Avant le premier cours
- Organisation du cours
- Supports de cours

2 Langage C

- Introduction
- Syntaxe d'un programme C

3 Annexe : Types de données et impression formatée

4 Annexe : structures de contrôle

- 1 Introduction
 - Avant le premier cours
 - Organisation du cours
 - Supports de cours
- 2 Langage C
 - Introduction
 - Syntaxe d'un programme C
- 3 Annexe : Types de données et impression formatée
- 4 Annexe : structures de contrôle

Conseil

Inscrivez-vous dès à présent sur l'UV !

- Si inscription au BA3 en ordre : automatique
- Sinon : possibilité d'inscription manuelle
- Pas d'accès à l'UV ? Voir [page web du service QuIC](#)

Répondez au sondage : [Option Informatique ou Biomédical](#)

Pourquoi l'UV ?

- Slides des cours théoriques
- Enoncés et corrigés des TP
- Code de base pour cours théoriques et TP
- Nombreux liens vers ressources en ligne
- Instructions pour la machine virtuelle

Installation

Démarrage rapide

- 1 Téléchargez et installez [VirtualBox](#) (y compris le Extension Pack)
- 2 Téléchargez l'image de la machine virtuelle :
[padi-vm.ova](#) ou [padi-vm.ova \(lien alternatif\)](#)
- 3 Ouvrez ce fichier avec VirtualBox pour importer la machine virtuelle

Instructions détaillées

- Voir : [Université Virtuelle](#)
- Ou : [Page web du service QuIC](#)

- 1 Introduction
 - Avant le premier cours
 - **Organisation du cours**
 - Supports de cours
- 2 Langage C
 - Introduction
 - Syntaxe d'un programme C
- 3 Annexe : Types de données et impression formatée
- 4 Annexe : structures de contrôle

Organisation du cours

Compléments de

- **Programmation**

- Langage C
- Langage C++

} 4x2h

- **Algorithmique**

- Introduction, algorithmes de tri
- Analyse de base des algorithmes
- Structures de données
- Stratégies algorithmiques

} 8x2h

- Séances d'exercices (en salle informatique) : 12x2h
- Projet : seconde moitié du quadrimestre

Responsabilités partagées

- Enseignants :
 - Préparer et donner les cours de manière consciencieuse et didactique
 - Se tenir disponible pour répondre aux questions pertinentes des étudiants
 - Être ouvert à tout commentaire ou critique constructive
- Étudiants :
 - Assister et participer activement aux cours et TP
 - Réviser le cours et les exercices avant l'examen

Si chacun remplit sa part du contrat

- Vous aurez acquis de nouvelles compétences
- Tout en validant le cours !

Evaluation

Evaluation continue : 5 points

- Projet

Evaluation finale : 15 points

- Examen oral
 - ▶ Question de programmation (5 points)
 - ▶ Question d'algorithmique (10 points)

Attention

Pour valider le cours il faut valider l'examen oral **et** le projet

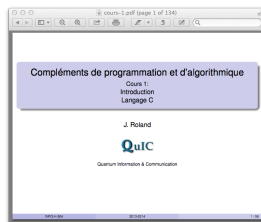
- Echec global si l'un des deux est en échec


- 1 Introduction
 - Avant le premier cours
 - Organisation du cours
 - **Supports de cours**
- 2 Langage C
 - Introduction
 - Syntaxe d'un programme C
- 3 Annexe : Types de données et impression formatée
- 4 Annexe : structures de contrôle

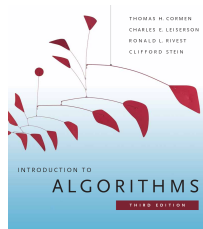
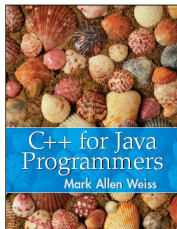
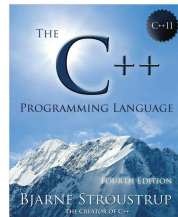
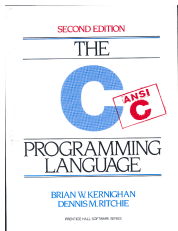
Pas de syllabus mais...

De nombreux autres supports de cours

- Slides
- Livres de référence
- Ressources en ligne
- Podcast des cours et TPs
- Tutoriels vidéos
- etc.



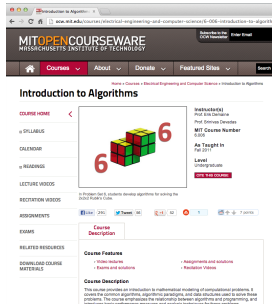
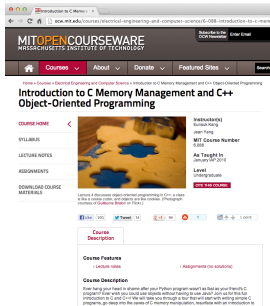
- Disponibles sur l'[Université Virtuelle](#)
- Mis en ligne sur l'UV au plus tard la veille de chaque cours
- Liste de références à la fin des slides de chaque cours : 



... et beaucoup d'autres

Ressources en ligne

- MIT OpenCourseWare : <http://ocw.mit.edu>



- C Programming and C++ Programming : <http://www.cprogramming.com/>
- ... et beaucoup d'autres

- 1 Introduction
 - Avant le premier cours
 - Organisation du cours
 - Supports de cours
- 2 Langage C
 - Introduction
 - Syntaxe d'un programme C
- 3 Annexe : Types de données et impression formatée
- 4 Annexe : structures de contrôle

Bref historique

1972 Développement initial du C

- ▶ Par K. Thompson et D. Ritchie, à AT&T Bell Labs
- ▶ Intimement lié au développement de Unix

1978 “K&R C”

- ▶ 1ère édition de *The C programming language* par Kernighan et Ritchie
- ▶ Spécification informelle du langage

1989 ANSI-C ou C89

- ▶ Standardisation par la *American National Standards Institute*
- ▶ 2ème édition de *The C programming language* par Kernighan et Ritchie

1990 C90

- ▶ Certification ISO
- ▶ Equivalent à ANSI-C / C89

⋮ C99, C11, C18

Caractéristiques du C

Le C est un langage

- impératif
 - cf Python et Java
- compilé
 - cf Java
- **pas** orienté objet
 - contrairement à Python, Java, ... et C++
- à gestion de mémoire manuelle
 - Pas de ramasse-miette (*garbage collector*) comme en Python et Java !
- simple !

Pourquoi utiliser le C ?

- Vitesse
- Mémoire
- Fonctionnalités de bas-niveau (OS, pilotes)

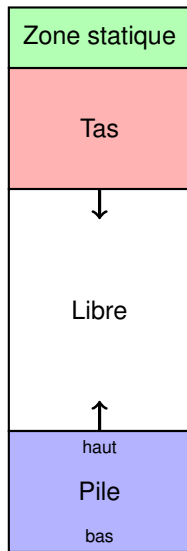
Gestion de la mémoire

Niveaux d'abstraction :

- Gestion automatique : Python, Java
- Accès à la mémoire : C, C++
- Manipulation directe de la mémoire : Assembleur

Types de mémoire :

- Zone statique :
 - Variables statiques et globales
- Mémoire pile (*stack*)
 - Variables locales
 - Remplie/vidée quand fonction lancée/terminée
- Mémoire tas (*heap*)
 - Allouée dynamiquement
 - Exemple : Objets en Java/Python



Accès à la mémoire tas

Mémoire tas :

- Peut être vue comme une grande table
- Chaque octet : adresse ↔ contenu
- Le programme entier y a accès
- Accès via “pointeurs”

Exemple : Mémoire contenant

- une chaîne de caractère “Hello”
- un entier 214

Que se passe-t-il si :

- On veut allonger “Hello” en “Hello, world” ?
- On n’a plus besoin de la chaîne ?
- On lit/écrit à une adresse quelconque ?

Adresse	Contenu
⋮	⋮
0x6C0A2BF0	'H'
0x6C0A2BF1	'e'
0x6C0A2BF2	'l'
0x6C0A2BF3	'l'
0x6C0A2BF4	'o'
0x6C0A2BF5	'\0'
0x6C0A2BF6	214
0x6C0A2BF7	
⋮	⋮

Allocation dynamique de mémoire

But :

- permettre au programme
 - de désigner des bouts de mémoire comme “utilisés”
 - d'y stocker et manipuler des données
 - de libérer ces bouts de mémoire quand ils ne sont plus nécessaires

Implémentation en C

- La bibliothèque standard du C (*standard library* `stdlib.h`) fournit les fonctions
 - `malloc` : pour allouer de la mémoire
 - `free` : pour libérer cette mémoire

- 1 Introduction
 - Avant le premier cours
 - Organisation du cours
 - Supports de cours
- 2 Langage C
 - Introduction
 - Syntaxe d'un programme C
- 3 Annexe : Types de données et impression formatée
- 4 Annexe : structures de contrôle

Le classique “Hello, world”

- Soit le fichier **hello.c**

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main()
4 {
5     /* Affiche le texte "Hello, world" */
6     printf("Hello, world\n");
7     return 0;
8 }
```

hello.c

- Compilation : **gcc -o hello hello.c**
- Execution : **./hello**

Exercice

- Compilez et exécutez ce programme
 - ▶ Quel fichier est créé par la compilation ?
 - ▶ Que se passe-t-il si on omet la ligne 1 ?


```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main()
4 {
5     /* Affiche le texte "Hello, world" */
6     printf("Hello, world\n");
7     return 0;
8 }
```

hello.c

- Ligne 1 : Inclure le fichier **stdio.h** (bibliothèque standard)
- Ligne 3 : Fonction principale **main** à valeur de retour **int**
- Ligne 5 : Commentaire
- Ligne 6 : Affichage, requiert **stdio.h**
- Ligne 7 : Valeur de retour **0** (succès)

Types de données

Très peu de types de données de base en C

Type	Description	Mémoire ¹
<code>char</code>	caractère ASCII vu comme un entier court	1 octet
<code>int</code>	entier de taille typique pour la machine hôte	4 octets
<code>float</code>	réel à virgule flottante	4 octets
<code>double</code>	réel à virgule flottante de précision double	8 octets

```
4 char premiere = 'a';  
5 int nbre_lettres = 26;  
6 const float avogadro = 6.0221415e23;  
7 const double pi = 3.14159265358979323846;
```

datatypes.c

Qualificateurs `short/long` ou `signed/unsigned` (voir annexe ) pour

- Diminuer l'utilisation de mémoire
- Augmenter ou modifier la gamme de valeurs possibles

1. Dépend de l'architecture, ici sous Mac OS 64 bits

Déclaration de variables

- Avant utilisation, une variable doit être

- ▶ déclarée
- ▶ éventuellement initialisée à partir d'une constante ou d'une autre variable

- Types de constantes

- ▶ caractère : 'a' = 97 (décimal) = '\141' (octal) = '\x61' (hexadécimal)
- ▶ entier : 26 (décimal) = 032 (octal) = 0x1a (hexadécimal)
- ▶ réel : 6.0221415e23 ou 3.14159265
- ▶ expression : 24*60*60

```
4 char premiere = 'a';  
5 int nbre_lettres = 26;  
6 const float avogadro = 6.0221415e23;  
7 const double pi = 3.14159265358979323846;
```

datatypes.c

- Mot-clé const

- ▶ Empêche de modifier la valeur de la variable


Impression formatée : `printf`

- Exemple :

```
1 #include <stdio.h>
2 int main()
3 {
4     char premiere = 'a';
5     int nbre_lettres = 26;
6     const float avogadro = 6.0221415e23;
7     const double pi = 3.14159265358979323846;
8     printf("Premiere lettre de l'alphabet: %c\n", premiere);
9     printf("Nombre de lettres: %10i\n", nbre_lettres);
10    printf("Le nombre d'Avogadro vaut %11.3e\n", avogadro);
11    printf("La constante pi vaut %10.6f\n", pi);
12    return 0;
13 }
```

datatypes.c

- Syntaxe générale pour spécifier le format : `%[-][l][.p]s`, où

- ▶ `[-]` permet d'aligner à gauche
- ▶ `[l]` est la largeur minimale
- ▶ `[.p]` est la précision
- ▶ `s` est un symbole donnant le type (voir annexe )

Fonctions

- Exemple

```
1 #include <stdio.h>
2 int somme(int a, int b);
3
4 int main()
5 {
6     int terme1 = 5, terme2 = 7;
7     int resultat = somme(terme1, terme2);
8     printf("La somme des termes vaut %i.\n", resultat);
9     return 0;
10 }
11
12 int somme(int a, int b)
13 {
14     return a+b;
15 }
```

somme-v1.c

- Doit être déclarée avant utilisation

Exercice

- Testez ce bout de code
 - Que se passe-t-il si vous omettez la déclaration en ligne 2 ? (utilisez l'option `-Wall` à la compilation)

Arguments passés par valeur

- Les arguments sont passés **par valeur**
- Exemple qui ne fonctionne pas :

```
1 #include <stdio.h>
2
3 /* echange: tentative ratée d'échange des deux arguments */
4 void echange(int a, int b)
5 {
6     int temp = a;
7     a = b;
8     b = temp;
9 }
10
11 int main()
12 {
13     int premier = 1, deuxieme = 2;
14     echange(premier, deuxieme);
15     printf("premier vaut %i, deuxieme vaut %i.\n", premier, deuxieme);
16     return 0;
17 }
```

echange.c

- Résultat :
premier vaut 1, deuxieme vaut 2.

- Variables locales :
 - Arguments d'une fonction
 - Variables déclarées dans une fonction
- Deux cas possibles :
 - automatique (par défaut) : créée puis détruite à chaque exécution
 - statique (mot-clé `static`) : garde sa valeur entre les exécutions
- Portée (*scope*) : uniquement pendant l'exécution de la fonction

Variables locales

- Exemple :

```
1 int somme(int a, int b)
2 {
3     static int compteur = 0;
4     int somme = a+b;
5     ++compteur;
6     return somme;
7 }
```

somme-v2.c

- La variable statique `compteur`

- ▶ compte le nombre d'appel à `somme`
- ▶ n'est pas accessible en dehors de `somme`

Exercice

- Reprenez le code de cette fonction et créez une fonction `main` pour la tester
 - ▶ Modifiez la fonction `somme` pour afficher la valeur de `compteur` à chaque exécution
 - ▶ Que se passe-t-il si vous essayez d'accéder à `compteur` depuis `main` ?
 - ▶ Que se passe-t-il si vous supprimez le mot-clé `static` ?

Variables globales (**extern**)

Différence entre définition et déclaration

- Déclaration : annonce les propriétés de la variable (type)
- Définition : attribue aussi un espace de stockage
(éventuellement avec initialisation de la valeur)

- **Variable globale** : Variable définie en dehors de toute fonction
 - ▶ Portée : depuis sa déclaration jusqu'à la fin du fichier
 - ▶ Mot-clé **extern** : pour déclarer une variable définie dans un autre fichier

- **Exemple** :

- ▶ Fichier 1 :

```
1 int variable_globale = 0;  
2 int main()  
3 { ... }
```

- ▶ Fichier 2 :

```
1 extern int variable_globale;  
2 int fonction(int a)  
3 { ... }
```

Préprocesseur

- Les instructions commençant par # sont pour le “préprocesseur”


```
1 #include <stdio.h>
2 #include "decl.h"
3 #define PI 3.14159265
4 #define square(x) (x)*(x)
5
6 int main()
```

preprocessor.c

- Avant compilation, le préprocesseur fait des substitutions sur le code :
 - ▶ #include insère les fichiers cités
 - ★ `stdio.h` fait partie de la bibliothèque standard
 - ★ `"decl.h"` peut contenir les déclarations de fonctions et variables globales
 - ▶ #define définit des macros
 - ★ Les occurrences de `PI` sont remplacées par `3.14159265`
 - ★ `square(expr)` est remplacé par `(expr)*(expr)` (pour tout `expr`)

Exercice

- Testez la macro `#define square(x) (x)*(x)`
 - ▶ Pourquoi n'utilise-t-on pas la syntaxe `#define square(x) x*x` ?
 - ▶ Essayez de l'appliquer à `square(1+1)`, et interprétez le résultat

- Comme dans la plupart des langages impératifs
 - `if-else`
 - `while`
 - `for`
 - `switch-case`
- Syntaxe : voir annexe 

Opérateurs d'incrément : ++i, i++, --i, i--

- Exemple :

```
1  /* table: imprime une table de multiplication */
2  int table(int a)
3  {
4      int produit, facteur = 0;
5      while ( facteur < 10 )
6      {
7          produit = a*(++facteur);
8          printf("%i fois %i egale %i\n", a, facteur, produit);
9      }
10     return 0;
11 }
```

table.c

- Hors d'une expression : ++i et i++ sont équivalents
 - i est incrémenté de 1, comme pour l'instruction i=i+1 ou i+=1
- Dans une expression :
 - ++i : i est incrémenté avant évaluation de l'expression
 - i++ : i est incrémenté après évaluation de l'expression
- Idem pour les opérateurs de décrémentation --i et i--

Opérateurs d'incrément : ++i, i++, --i, i--

- Exemple :

```
1  /* table: imprime une table de multiplication */
2  int table(int a)
3  {
4      int produit, facteur = 0;
5      while ( facteur < 10 )
6      {
7          produit = a*(++facteur);
8          printf("%i fois %i egale %i\n", a, facteur, produit);
9      }
10     return 0;
11 }
12
13 int main()
14 {
15     ...
16     return 0;
17 }
```

table.c

Exercice

- Testez la fonction table
 - Que se passe-t-il si vous remplacez ++facteur par facteur++ à la ligne 7 ?

Entrée/sortie de caractères : `getchar` et `putchar`

- La commande `c=getchar()`;
 - Lit un caractère sur l'entrée standard
 - Affecte ce caractère à la variable `c` de type `char`
- La commande `putchar(c)`;
 - Affiche le caractère `c` sur la sortie standard
- Nécessitent `<stdio.h>`
- Exemple :

```
1 #include <stdio.h>
2 /* Copie l'entrée sur la sortie (version 1) */
3 int main()
4 {
5     char c;
6     c = getchar();
7     while ( c != EOF )
8     {
9         putchar(c);
10        c = getchar();
11    }
12    return 0;
13 }
```

copy-v1.c

Exemple 1 : copier l'entrée sur la sortie

● Exemple :

```
1 #include <stdio.h>
2 /* Copie l'entrée sur la sortie (version 1) */
3 int main()
4 {
5     char c;
6     c = getchar();
7     while ( c != EOF )
8     {
9         putchar(c);
10        c = getchar();
11    }
12    return 0;
13 }
```

copy-v1.c

● Analyse : EOF

- ▶ caractère spécial signalant la fin de fichier (*End Of File*)
- ▶ correspond généralement à l'entier -1
- ▶ défini dans `<stdio.h>`
- ▶ Peut-être entré avec Ctrl-D (Linux et Mac OS) ou Ctrl-Z (Windows)

Exemple 1 : copier l'entrée sur la sortie

- En C, toute instruction renvoie une valeur
 - L'affectation (**a=b**) renvoie la valeur **b**.
- Applications
 - Au lieu de **a=0;b=0;**, on peut écrire **a=(b=0);**, ou même **a=b=0;**.
 - (**c=getchar()**) renvoie la valeur **c**, et donc :

```
1 #include <stdio.h>
2 /* Copie l'entrée sur la sortie (version 2) */
3 int main()
4 {
5     char c;
6     while ( (c = getchar()) != EOF )
7         putchar(c);
8     return 0;
9 }
```

copy-v2.c

Exercice

- Testez l'une ou l'autre version de ce programme
 - Observez à quel moment la copie est effectuée

Exemple 2 : compter les caractères

- Version 1, avec `while`

```
1 #include <stdio.h>
2 /* Compte les caractères (version 1) */
3 int main()
4 {
5     int nc = 0;
6     while ( getchar() != EOF )
7         ++nc;
8     printf("%i caractères ont été entrés.\n", nc);
9     return 0;
10 }
```

- Version 2, avec `for`

```
1 #include <stdio.h>
2 /* Compte les caractères (version 2) */
3 int main()
4 {
5     int nc;
6     for ( nc=0; getchar()!=EOF ; ++nc )
7         ;
8     printf("%i caractères ont été entrés.\n", nc);
9     return 0;
10 }
```

- Le corps de la boucle est vide !

Prochain cours :

Programmation en C (suite)

- Pointeurs
- Allocation manuelle de mémoire

Références

- Ces slides : disponibles sur l'Université Virtuelle
- *The C programming language*, B.M. Kernighan and D.M. Ritchie, Prentice Hall (1988)
 - ▶ Chapitres 1 à 4 et 7
- *6.088 Introduction to C Memory Management and C++ Object-Oriented Programming*, E. Kang and J. Yang, MIT OpenCourseWare (2010) : <http://ocw.mit.edu/...>
 - ▶ Lecture 1
- Wikipedia :
 - ▶ [http://en.wikipedia.org/wiki/C_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/C_(programming_language))



Qualificateurs : `short/long`, `signed/unsigned`

Qualificateurs `short/long` ou `signed/unsigned` pour

- Diminuer l'utilisation de mémoire
- Augmenter ou modifier la gamme de valeurs possibles

Type	Gamme de valeurs ²	Mémoire ²
<code>short int = short</code>	$-2^{15} \rightarrow 2^{15} - 1$	2 octets
<code>int</code>	$-2^{31} \rightarrow 2^{31} - 1$	4 octets
<code>long int = long</code>	$-2^{63} \rightarrow 2^{63} - 1$	6 octets
<code>long double</code>	$\sim 10^{-37} \rightarrow 10^{37}$	16 octets
<code>signed char</code>	$-128 \rightarrow 127$	1 octet
<code>unsigned char</code>	$0 \rightarrow 255$	1 octet
<code>signed int = int</code>	$-2^{31} \rightarrow 2^{31} - 1$	4 octets
<code>unsigned int</code>	$0 \rightarrow 2^{32} - 1$	4 octets

Impression formatée : `printf`

- Syntaxe générale pour spécifier le format : `%[-][l][.p]s`, où
 - `[-]` permet d'aligner à gauche
 - `[l]` est la largeur minimale
 - `[.p]` est la précision
 - `s` est un symbole donnant le type

Symbole	Type	Description	Exemple
<code>c</code>	<code>char</code>	caractère unique	<code>%c</code> → "a"
<code>d, i</code>	<code>int</code>	entier décimal	<code>%4i</code> → " 26"
<code>u</code>	<code>int</code>	entier décimal non-signé	<code>%4u</code> → " 26"
<code>o</code>	<code>int</code>	entier octal	<code>%4o</code> → " 32"
<code>x, X</code>	<code>int</code>	entier hexadécimal	<code>%4x</code> → " 1a"
<code>f</code>	<code>float, double</code>	réel	<code>%10.6f</code> → " 3.141593"
<code>e, E</code>	<code>float, double</code>	réel (notation scientifique)	<code>%11.3e</code> → " 6.022e+23"

Exercice

- En vous basant sur les bouts de code des derniers slides
 - Déclarez, initialisez et imprimez différents types de variables
 - Testez différents formats d'affichage pour entiers et réels
 - Que se passe-t-il si vous essayez de modifier une variable `const` ?

Structure de contrôle : `if-else`

- Syntaxe :

```
1 if (expr1)
2     instr1;
3 else
4     instr2;
```

- Pas de variables booléennes : `expr1` est un entier

- ▶ `expr1=0` → `faux`
- ▶ `expr1≠0` → `vrai`

- Exemple :

```
1  /* max: calcule le maximum des deux arguments */
2  int max(int a, int b)
3  {
4      if (a>b)
5          return a;
6      else
7          return b;
8  }
```

Autre solution : (? :)

- Syntaxe : (expr1 ? expr2 : expr3)
- Principe :
 - expr1=vrai → évalue expr2
 - expr1=faux → évalue expr3
- Exemple :

```
1  /* max: calcule le maximum des deux arguments (version 2) */  
2  int max(int a, int b)  
3  {  
4      return (a>b ? a : b);  
5  }
```

Variantes : `else-if`, `switch`

- `else if`

```
1 if (expr1)
2     instr1;
3 else if (expr2)
4     instr2;
5 else
6     instr3;
```

- `switch`

```
1 switch (expr1)
2 {
3     case const1: instr1;
4     case const2: instr2;
5     case const3: instr3;
6     default: instr4;
7 }
```

- Note :

- ▶ Tous les `case` sont considérés, même si un `case` précédent est vrai
- ▶ Instruction `break` pour sortir immédiatement du `switch`

Structure de contrôle : `while`

- Syntaxe :

```
1 while (expr1)
2 {
3     instructions;
4 }
```

- Exemple :

```
1  /* table: imprime une table de multiplication */
2  int table(int a)
3  {
4      int produit, facteur = 0;
5      while ( facteur < 10 )
6      {
7          produit = a*(++facteur);
8          printf("%i fois %i egale %i\n", a, facteur, produit);
9      }
10     return 0;
11 }
```

Structure de contrôle : **do-while**

- **Syntaxe :**

```
1 do
2 {
3     instructions;
4 }
5 while (expr1);
```

- **Exemple :**

```
1  /* table: imprime une table de multiplication (version 2) */
2  int table(int a)
3  {
4      int produit, facteur = 0;
5      do
6      {
7          produit = a*(++facteur);
8          printf("%i fois %i egale %i\n", a, facteur, produit);
9      }
10     while ( facteur<10 );
11     return 0;
12 }
```

- **Utilisé** quand la boucle est exécutée au moins une fois

Structure de contrôle : **for**

- **Syntaxe :**

```
1 for (expr1; expr2; expr3)  
2 {  
3     instructions;  
4 }
```

- **Equivalent à :**

```
1 expr1;  
2 while (expr2)  
3 {  
4     instructions;  
5     expr3;  
6 }
```

- **Utilisé** en présence d'une initialisation et d'un incrément simple
- **Exemple :** **for** (**i=0**; **i<n**; **i++**)
- **Différence** entre version **for** et **while** : instruction **continue**
 - Un **continue** dans la boucle fait sauter à l'itération suivante
 - Pour **for**, **expr3** est tout de même exécutée

Structure de contrôle : `for`

- Syntaxe :

```
1 for (expr1; expr2; expr3)
2 {
3     instructions;
4 }
5 while (expr1);
```

- Exemple :

```
1  /* table: imprime une table de multiplication (version 3) */
2  int table(int a)
3  {
4      int facteur;
5      for ( facteur=1; facteur<=10; facteur++ )
6      {
7          printf("%i fois %i egale %i\n", a, facteur, a*facteur);
8      }
9      return 0;
10 }
```