

Introduction au langage C

Guillaume Chanel - guillaume.chanel@hesge.ch

Florent Glück - florent.gluck@hesge.ch

May 07, 2025

ISC - HEPIA

Généralités

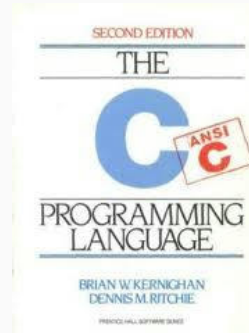
Un bref historique

Développé par Dennis Ritchie à Bell Labs entre 1969 et 1973 et est intimement lié au développement d'UNIX :

- C a été créé pour pallier aux limites des langages existants (BCPL, B) dans le développement d'UNIX
- À partir de 1972 le noyau UNIX est écrit en C



Ken Thompson, un des créateurs d'UNIX (gauche) et Dennis Ritchie (droite)



- Brian W. Kernighan and Dennis M. Ritchie, "The C Programming Language", 2nd Edition, Prentice Hall, 1988
- Première édition: le standard "K&R-C "

Norme ANSI (1/3)

ANSI C est une norme qui garantie la **portabilité** :

- Défini les types manipulables et les conventions d'utilisation
- Défini les entêtes de fonctions et constantes de la librairies standard

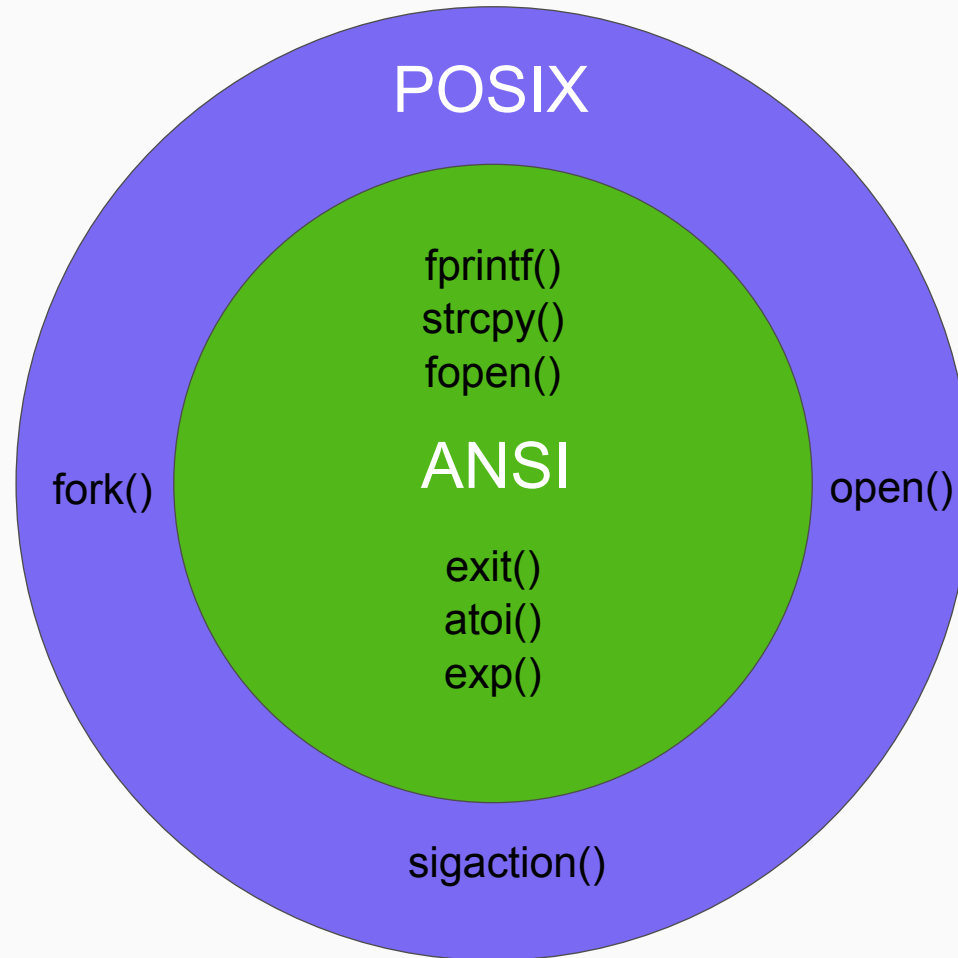
Exemples :

<code>math.h</code>	Fonctions mathématiques courantes (<code>cos</code> , <code>exp</code> , <code>pow</code> , etc.)
<code>stdio.h</code>	Fonctions d'entrée/sortie du système (<code>printf</code> , <code>scanf</code> , <code>getc</code> , etc.)
<code>stdlib.h</code>	Allocation et libération mémoire (<code>malloc</code> , <code>free</code> , etc.), contrôle de processus (<code>exit</code> , etc.), etc.

Norme ANSI (2/3)

Année	Nom(s)	Addition(s) principales
1989	C89	-
1990	C90 ISO-9899:1990	Mineurs : C90 \approx C89
1999	C99 ISO-9899:1999	Nouveaux types (complexes, booleen, etc.), fonctions inline, etc.
2011	C11 ISO-9899:2011	<i>Multi-threading</i> , unicode amélioré, etc.
2017	C17 ISO-9899:2018	Rien de significatif par rapport à C17, défaut de GCC est gnu17 (similaire à C17, mais pas identique)
2023	C23 ISO-9899:2024	Nouvelles fonctions lib standard, nouveaux types, mots-clés (true, false), directives préprocesseur, etc.

Norme ANSI (3/3)



Le C aujourd'hui

Beaucoup de code libre et ouvert est en C (maintenant en C++) :

- Bibliothèques populaires :
 - GTK+ : interfaces graphiques (GUI)
 - Glib : listes chaînées, arbres, timer
 - Qt : GUI multi-plateformes
 - Boost : fonctions scientifiques, traitement signal, algèbre linéaire, etc.
 - SDL : rendu graphique, gestion souris, clavier, jeux, etc.

Depuis sa création, C est resté un langage populaire :

- Très utilisé dans l'embarqué et temps réel, applications système, de moins en moins utilisés pour les GUI
- Beaucoup de langages sont inspirés de C (C++, Go, Java, C#, Objective C, PHP)

Les principaux compilateurs C :

- **gcc** : natif sous Linux et utilisable sous Windows via MinGW
- **clang** : basé sur LLVM, natif sous Linux, en général messages d'erreurs plus clairs que gcc
- **Microsoft Visual Studio** : environnement de développement complet et intégré, uniquement pour Windows

Caractéristiques principales de C

Avantages

- Langage de **bas niveau**, proche du langage machine et du système :
 - code rapide et efficace
 - accès à la représentation interne des informations
 - sous UNIX/Linux, C est proche du système et permet de réaliser des appels au noyaux directement
- Langage de **haut niveau** :
 - indépendant de la machine (tant qu'un compilateur C existe pour celle-ci)
 - beaucoup de types de données disponibles (tableaux, structures, etc.)
 - les normes ANSI et POSIX donnent accès à des fonctions de plus haut niveau

Caractéristiques principales

Inconvénients

- Inadapté au développement occasionnel ou pour le prototypage/test rapide d'algorithmes
- L'efficacité peut être au dépend de la compréhension → **commentez clairement les parties de code potentiellement peu compréhensibles !**
- Langage sans garde-fou : indices de tableaux non contrôlés, possible de tenter un accès partout en mémoire → **programmation défensive** :
 - toujours se méfier du code que l'on croit correct, s'attendre au pire
 - tester le résultat de tous les appels aux fonctions, penser à toutes les erreurs possibles
- Un programme buggé peut **sembler** fonctionner correctement !

Premier programme en C

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

#define PI 3.14159265359

double surface(float x) {
    return x * x * PI;
}

// La fonction main est toujours la premiere fonction
// d'un programme C a etre appelee lors de l'execution
int main() {
    int input, i;
    // la fonction printf affiche quelque chose
    printf("Veuillez entrer une valeur: ");
    scanf("%d", &input); // la fonction scanf lit l'entree utilisateur
    for (i = 1; i < input; i++) {
        float per = surface(i);
        printf("Le resultat pour %d est: %f\n", i, per);
    }

    return 0;
}
```

Manipulations de variables

Les directives de pré-compilation (version courte)

Les directives de pré-compilation :

- Sont interprétées par le préprocesseur `cpp`
- Sont remplacées par leur évaluation **avant** la compilation du programme
- Sont toujours précédées du caractère `#`
- Ne se terminent jamais par un `;`
- La directive `include` inclue les entêtes des fonctions d'une librairie :

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

- La directive `define` permet de créer une sorte de “constante” :

```
#define PI 3.14159265359
```

Types et déclaration de variables (1/2)

Type	Base de déclaration
Entier	<code>int</code>
Virgule flottante simple	<code>float</code> , stocké sur 32 bits
Virgule flottante double	<code>double</code> , stocké sur 64 bits (plus de valeurs possibles)
Caractère	<code>char</code> , un petit entier (généralement 8 bits)
Vide	<code>void</code> , absence de valeur, utile pour les fonctions sans retour et sans paramètres ainsi que pour les pointeurs sur des types inconnus (programmation générique)

Types et déclaration de variables (2/2)

Il est possible de combiner ces types avec des mots-clés :

Mot-clé	Types acceptés	Effet
<code>short</code>	<code>int</code>	diminue la taille de l'entier en mémoire (moins de valeurs disponibles)
<code>long</code>	<code>int</code> , <code>double</code>	augmente la taille de la variable en mémoire (plus de valeurs disponibles)
<code>unsigned</code>	<code>char</code> , <code>int</code>	la valeur ne peut pas être négative → la valeur maximum du nombre augmente

Types : exemples

```
float maVariable;  
int ceciEstUnEntier;  
unsigned int ceciEstUnEntierSuperieurAZero;  
char ceciEstUnCaractère;  
long int ceciEstUnEntierLong;  
long long int ceciEstUnEntierTresLong; // C99  
long ceciEstUnEntierLong;  
double ceciEstUnDouble;  
long double ceciEstUnDoubleLong = 1.3421; // declaration + initialisation
```


Attention ! Il n'y a pas de type booléen en C89/90

- Depuis C99, on peut utiliser :

```
#include <stdbool.h>  
bool unBoolean = true // (en fait true==1 et false==0)
```

De manière générale :

- Toute valeur différente de 0 est considérée comme vraie
- 0 ou NULL sont considérés comme faux

Taille des variables



La taille des variables dépend de l'architecture cible et du compilateur utilisé !

- Pour connaître la taille d'une variable :
 - utiliser l'opérateur `sizeof(t)` où `t` peut être un type ou un nom de variable
 - les fichiers *header* `limits.h` et `float.h` donnent les limites des types :
 - `CHAR_MIN` : valeur minimum d'un `char`
 - `UINT_MAX` : valeur maximum d'un `int`
 - en C99, `stdint.h` contient des types avec tailles explicites :
 - `int8_t`, `int16_t`, `int32_t`
 - `uint8_t`, `uint16_t`, `uint32_t`

Règles sur les variables : noms

Règles sur les noms de variables :

- doit commencer par une lettre ou le caractère `_`
- peut comporter uniquement lettres, chiffres et le caractère `_`
- le nom ne doit pas déjà exister (fonction, `if`, `sizeof`, etc.)
- il est fortement conseillé d'utiliser des noms de variable claire



N'oubliez pas d'initialiser les valeurs des variables !

Règles sur les variables : portée

Portée d'une variable :

- Déclarée dans un bloc entre deux accolades `{ }`, une variable n'est accessible que dans ce bloc
- Déclarée hors de toute accolade (et hors de toute fonction), une variable est globale, donc accessible de partout → à éviter

Opérateurs usuels

Type	Opérateurs	Explication/Note	Exemple
Affectation	=		val = 5
Arithmétique	+ - * / %	Reste de la division entière	y = 3/4 * x + b 10 % 4 = 2 le reste de 10 / 4 est 2
Comparaison	< <= > >= == !=	Ne pas confondre = et ==	1 > 4 (retourne 0, FAUX) 7 != 4 (retourne !0, VRAI)
Logique	&& !	ET OU NON	(y > 8)
Binaires	& ^ ~ << >>	ET OU XOR NON Décalage à gauche Décalage à droite avec conservation du signe	5 & 10 (retourne 0) 6 << 1 (retourne 12) 9 >> 2 (retourne 2)

Quiz

Étant donné la définition de fonction suivante :

```
function test_if_2(int a) {  
    if(a = 2)  
        return 1; // or true  
    else  
        return 0; // or false  
}
```

Que retourne l'appel suivant ?

```
test_if_2(3)
```

Opérateurs usuels

Il est possible de combiner les opérateurs arithmétiques et logiques avec l'affectation :

```
int y;  
y = 3;  
y += 4;    // Equivalent à y = y + 4  
x <<= 2;   // Equivalent à x = x << 2
```

Il existe un opérateur d'incrément/décrément (`++` et `--`) :

```
int x, i = 0;  
i++;      // equivalent à i = i + 1  
i--;      // equivalent à i = i - 1  
x = ++i;  // x vaut 1 car l'incrément est fait avant l'affectation  
x = i++;  // x vaut toujours 1 car l'incrément est fait après l'affectation
```

L'ordre de priorité des opérateurs est :

- l'ordre habituel pour les opérateurs arithmétiques
- modifiable grâce au parenthèses ()

Conversion de types

Dans un calcul, le type des variables détermine le type du résultat :

- si un calcul implique des variables de même type, le résultat sera de ce type
- si un calcul implique des variables de types différents, le type “le plus général” sera choisi

```
int xInt = 3, resInt;  
float xFloat = 3, resFloat;  
char xChar = 3;  
resInt = xInt / 4;           // resInt vaudra 0 car le calcul est entier  
resFloat = xInt / 4;        // resFloat vaudra 0.00 car le calcul est entier  
resFloat = xInt / 4.;       // resFloat vaudra 0.75 car 4. est un float  
resFloat = xFloat / 4;      // resFloat vaudra 0.75 car xFloat est un float  
resInt = xFloat / 4;        // resInt vaudra 0 (cas resInt est un entier)  
resInt = xChar + 2;         // Conversion automatique et possible (resInt vaudra 5)
```


Le casting permet de forcer la conversion de type

```
resFloat = (float) xInt / 4;    // resFloat vaudra 0.75 car x est convertit
                                // en float
resFloat = (float) (xInt / 4);  // resFloat vaudra 0.00 car le calcul
                                // entier est fait avant conversion
resInt = (float) xInt / 4;      // resInt vaudra 0 car resInt est un
                                // entier
```

Quiz

Quel est le problème avec les calculs suivants ?

```
int i; long int l; float f; char c; unsigned char uc;  
  
c = -100;  
uc = c;  
  
c = 'è'; // = 232 (code ascii étendu IBM Code page 437)  
uc = c;  
  
l = 320254468;  
f = 45879651324476.5;  
i = l * f;
```

Contrôle du flot d'exécution

Structure conditionnelles

Les branchements `if` :

```
int a, b, c;
...
if((a < 0) || !((b == 2) && (c != 4))) {
    printf("La condition est validée\n");
}
else {
    printf("La condition n'est PAS validée\n");
}
```

Les boucles for

Les boucles `for` :

```
// Calcul la somme des N premiers entiers
int value = 0;
for(int i = 0; i < N; i++) {
    printf("Nouvelle itération de la boucle\n");
    value += i;
}
```

Les boucles while

La boucle `while` :

```
//Calcul la somme des N premiers entiers
int value = 0, i = 0;
while(i < N) {
    value += i;
    printf("Nouvelle itération de la boucle: %d\n", i++);
}
```

La boucle `do ... while` : le contenu est toujours exécuté au moins une fois

```
//Calcul la somme des N premiers entiers
int value = 0, i = 0;
do {
    value += i;
    printf("Nouvelle itération de la boucle: %d\n", ++i);
}
while(i < N);
```

Interruption de boucles

Il est possible d'interrompre le déroulement d'une boucle (`for`, `while`, `do/while`) en utilisant les mots-clés :

- `continue` : passe à l'itération suivante
- `break` : sort de la boucle

```
//Calcul la somme des nombre impairs allant de 0 à N
value = 0, i = 0;
while(1) {
    if(i > N)
        break;
    if(i % 2 == 0) {
        i++;
        continue;
    }
    value += i;
    printf("Nouvelle itération de la boucle: %d\n", ++i);
}
```

Attention : dans certains cas (cf. ci-dessus), l'utilisation de `break` et `continue` est à éviter, car elle rend le code moins lisible

Les fonctions (1/2)

Une fonction est toujours déclarée avant son utilisation :

```
typeValeurRetour nomDeLaFonction(type1 param1, ..., typeN paramN)
```

Le mot-clé `return` indique un point d'arrêt de la fonction, ainsi que la valeur que la fonction doit retourner :

```
float pourcentage(int valeur, int centPourcent) {  
    return ((float) valeur/centPourcent)*100;  
}
```

Une fonction peut ne rien retourner :

```
void pourcentage(int valeur, int centPourcent) {  
    printf("%f", ((float) valeur/centPourcent)*100);  
}
```


Les fonctions (2/2)

Il est possible de déclarer une fonction juste avec son entête :

- Évite d'organiser les fonctions suivant la position de leurs appels
- Sépare l'interface utilisateur de l'implémentation, un premier pas vers la création de modules et librairies

```
float pourcentage(int , int); // Déclaration de l'entête

int main(void) {
    int a,b;
    ...
    // Utilisation de la fonction sans implémentation connue
    pourcentage(a,b)
    return 0;
}

float pourcentage(int valeur, int centPourcent){
    return ((float) valeur/centPourcent)*100;
}
```

Passage par adresse

- En C les paramètres sont **toujours passés par valeur** (aussi appelé “par copie” car pas de modification des variables passées en argument)
- Il n’y a pas de passage par référence ; pour palier à ce manque, on recourt à passer l’adresse comme valeur :
 - on déclare les paramètres de la fonction comme pointeurs et on les utilise comme tel avec le symbole *****
 - lors de l’appel à la fonction, on passe l’adresse de la variable avec le symbole **&**

Passage par adresse : exemples

```
int versPourcentage(float *valeur, float centPourcent) {
    if( (centPourcent > 0) && (*valeur >= 0) ) {
        *valeur = (*valeur / centPourcent)*100;
        return 0;
    }
    else
        return -1;
}

/* Utilisation de la fonction */
int main(void) {
    int val = 30; ret;
    if ( (ret = versPourcentage(&val, 100)) < 0 )
        return ret;
    else
        return val;
}
```

Les tableaux et chaînes de caractères

Déclaration des tableaux

Les tableaux sont :

- De type unique
- Indicés de 0 à N-1 pour un tableau de N éléments
- Organisés de manière contigüe en mémoire
- Statiques ou dynamiques (cf. pointeurs et C99)

Déclaration d'un tableau :

```
#define TAILLE_MAX 10  
int tableauDEntiers[TAILLE_MAX];  
double tableauDeDoubles[TAILLE_MAX];
```

Utilisation des tableaux

Affecter et lire les valeurs des tableaux :

```
// Initialization du tableau  
for (int i = 0; i < TAILLE_MAX; i++)  
    tableauEntiers[i] = i+1;
```

Attention !

Attention aux indices des tableaux !

Hors des **limites** d'un tableau, le comportement est **indéfini** :

- Au mieux, tout fonctionne correctement
 - ce qui ne signifie pas que le programme n'est pas buggé !
- Éventuellement un **Segmentation Fault**
- Au pire, la valeur d'une autre variable est modifiée et on peut obtenir des erreurs importantes

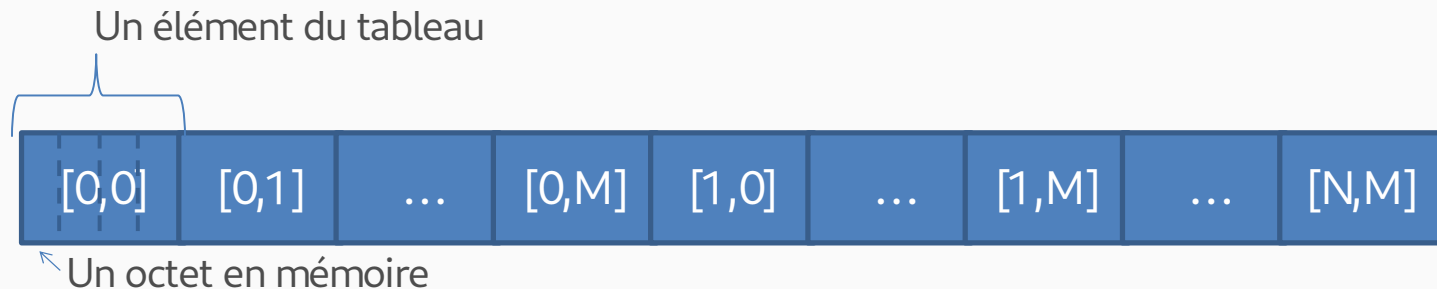
Tableau à N dimensions

```
// Lignes et colonnes sont arbitraires
#define NB_LIGNES 3
#define NB_COLONNES 5
#define NB_MORE 7

double tab2D[NB_LIGNES][NB_COLONNES];
float tab3D[NB_LIGNES][NB_COLONNES][NB_MORE];
float tab4D[NB_LIGNES][NB_COLONNES][NB_MORE][NB_MORE];

for(i = 0; i < NB_LIGNES; i++)
    for(j = 0; j < NB_COLONNES; j++)
        tab2D[i][j] = 0.0;
```

L'organisation en mémoire reste linéaire !



Chaînes de caractères

- Le type chaîne de caractères (*string*) **n'existe pas en C**
 - pour cette raison on utilise des tableaux de caractères
- Une chaîne de caractères se termine toujours par le caractère `'\0'` :
 - il faut donc penser à réserver une place pour ce caractère dans le tableau
 - tout ce qui suit le caractère `'\0'` est ignoré
 - si une chaîne de caractères ne contient pas de caractère `'\0'`, celle-ci est donc **sans fin** (dépassement de la capacité du tableau garantie)

Manipulation des chaînes

```
char machaine[8] = "C cool!";    // '\0' est ajouté après la chaîne (pensez à
                                  // réserver de la place)
char machaine2[] = "C cool!";    // Alloue automatiquement la bonne taille
printf("%s\n", machaine2);       // Affiche la chaîne
machaine[1] = '\0';              // '' pour un caractère et "" pour une chaîne
printf("%s\n", machaine);        // Affiche "C"
```



Il existe des fonctions de manipulation de chaînes dans la librairie `string` (inclure `string.h`), e.g.:

- ▶ `strncpy(dest, src, n)`, copie `n` caractères de la chaîne `src` vers `dest`
- ▶ `strlen(str)`, retourne la taille de la chaîne sans compter le `'\0'`
- ▶ `strcmp(str1, str2)`, retourne 0 si les deux chaînes sont identiques

Manipulation des chaînes

- `strncat(dest, src, n)`, ajoute `src` à la fin de `dest` (enlève le `'\0'`), copie au maximum `n` bytes de `src`

Pour afficher du texte sur stdout (console) on utilise la fonction `printf` :

```
printf(texteEtFormat, variable1, variable2, ...)
```

- `texteEtFormat` : une chaîne de caractères à afficher entre "" qui spécifie les positions et types des variables à afficher
- `variable1`, `variable2` : variables à afficher dans l'ordre de leur apparence dans `texteEtFormat`

Entrée / sortie console (2/4)

Pour lire du texte sur stdin (console) on utilise la fonction `scanf` :

```
scanf(texteEtFormat, *variable1, *variable2, ...)
```

- `texteEtFormat` : une chaîne de caractères comme pour `printf`
 - Attention : taper du texte ici indique que ce texte doit être saisi par l'utilisateur et non pas que le texte sera affiché sur stdout
- `*variable1`, `*variable2` : adresses des variables où seront stockées les valeurs entrées par l'utilisateur
 - pour obtenir l'adresse d'une variable, on utilise le symbole `&`

Les entêtes de fonction font partie du fichier `stdio.h`

Entrée / sortie console (3/4)

liste des principaux spécificateur (`man printf` pour une liste complète) :

Spécificateurs	Affichage
%d	%i integer, char
%f	float, double
%c	unsigned char afficher sous forme de caractère
%u	unsigned integer, char
%s	string (chaines de caractères)
%lS	précède le spécifieur S par une indication de long (e.g. %ld)
%Pd, %P.Sf	P indique la taille minimum du champ à afficher S indique le nombre de chiffres significatifs après la virgule

Entrée / sortie console (4/4)

On utilise les combinaisons de symboles suivantes pour les caractères spéciaux :

Symboles	Affichage
<code>\n</code>	saut de ligne
<code>\r</code>	retour à la ligne
<code>\t</code>	tabulation
<code>\\</code>	backslash
<code>\'</code> <code>\"</code>	simple ou double quote
<code>\0</code>	NUL character, utilisé pour indiquer la fin d'une chaîne de caractères

fonctions intéressantes pour les entrées sorties (1/2)

```
int getchar(void)
```

- attends une entrée clavier STDIN
- retourne le code du caractère tapé (sans écrire sur STDIN)

```
int putchar(int car)
```

- écrit le caractère en argument sur STDOUT
- retourne le caractère si pas d'erreur, EOF sinon

```
int puts(const char* string)
```

- écrit la chaine de caractères string sur STDOUT
- retourne EOF en cas d'erreur

fonctions intéressantes pour les entrées sorties (2/2)

- `char* fgets(char* string, int size, stdin)`
 - Ne pas utiliser **gets**
 - lit une chaîne de caractères sur STDIN, de taille maximum size, et la place dans `string`
 - stdin est en fait un pointeur sur `FILE`
 - retourne NULL en cas d'erreur

Exemple d'entrées / sorties

```
#include <stdio.h>

int main(void) { // à l'exécution, main est toujours la première fonction du programme à être exécutée
    float inputFloat;
    char inputChar;
    int nbCorrespondance;

    // Entrée de l'utilisateur pour un float et affichage du float de différentes manières
    printf("Veuillez entrer un float:\t");
    scanf("%f", &inputFloat);
    printf("Affichage de l'entree sous forme de float: %f\n", inputFloat);
    printf("Idem avec 2 digits apres la virgule: %.2f\n", inputFloat);
    printf("Idem avec au moins 6 caractères: %6.2f\n", inputFloat);
    printf("Notation scientifique: %e\n", inputFloat);
    printf("Affichage de l'entree sous forme d'entier %d\n", inputFloat);

    do { // Boucle tant que l'utilisateur n'appuie pas sur 'enter'
        // Entrée de l'utilisateur pour un caractère avec effacement du buffer d'entrée clavier
        printf("Veuillez entrer un caractere: ");
        while ((inputChar = getchar()) != '\n' && inputChar != EOF);
        inputChar = getchar(); // possibilité d'utiliser scanf("%c", &inputChar)
        // Si le caractère est valide, l'afficher sous forme d'entier non signé
        if (inputChar != '\n')
            printf("Le code ASCII de %c est %u\n", inputChar, inputChar);
    } while(inputChar != '\n');

    return 0;
}
```

Dans quel cas ce code provoque des erreurs ?

```
#include <stdio.h>
#define TAILLE_MAX 3
void affiche_chaine(char*, int);
int main(void) {
    int valeur1 = 1;
    char chaine[TAILLE_MAX] = {'a', 'b', '\0'};
    int valeur2 = 2;

    // Affiche l'état de la mémoire pour les variable ci-dessus
    printf("Valeur1:\tAdresse: %x\tValeur:%d\n", &valeur1, valeur1);
    affiche_chaine(chaine, TAILLE_MAX);
    printf("Valeur2:\tAdresse: %x\tValeur:%d\n", &valeur2, valeur2);

    // NE JAMAIS UTILISER GETS !
    gets(chaine);

    // Affiche l'état de la mémoire pour les variable ci-dessus
    printf("Valeur1:\tAdresse: %x\tValeur:%d\n", &valeur1, valeur1);
    affiche_chaine(chaine, TAILLE_MAX);
    printf("Valeur2:\tAdresse: %x\tValeur:%d\n", &valeur2, valeur2);
}
```

Exécution de programme

La fonction main

- La fonction `main` est le **point d'entrée** du programme
- Elle possède l'entête suivante :

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

- `argc` : nombre d'arguments passés au programme
- `argv` : un tableau de chaînes de caractères contenant les arguments

La valeur de l'entier retourné indique si le programme s'est bien déroulé :

- `0` : le programme s'est terminé avec succès
- `!0` : le programme a rencontré une erreur

La fonction `exit`

La fonction `exit` termine le programme courant en renvoyant le code spécifié en paramètre :

```
void exit(int status);
```

- Dans un shell, `$?` contient le code de retour de la dernière commande exécutée

Exemple de fonction main

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

int main(int argc, char *argv[]) {
    int i, sum = 0;
    if (argc != 0)
        printf("Le nom du programme est: %s\n", argv[0]);

    if (argc > 1) {
        // Sum the inputs
        for (i = 1 ; i < argc ; i++) {
            // Affiche le paramètre traité
            printf("Param %d: %s\n", i, argv[i]);
            // Convert the parameter to a number and sum it
            sum += atoi(argv[i]);
        }
    }
    return sum;
}
```

Variables d'environnements

- La variable globale `environ` est un tableau de chaînes de caractères permettant d'accéder aux variables d'environnement
- Manipuler `environ` est déconseillé, on préférera obtenir la valeur d'une variable d'environnement avec :

```
char* getenv (const char *name)
```

- retourne la valeur de la variable d'environnement `name` sous forme de chaînes de caractères (NULL si pas défini)
- **attention** : la chaîne retournée ne doit pas être modifiée et peut être changée par des appels successifs à `getenv`

Ajouter / modifier une variable d'environnement

Pour ajouter ou modifier une variable d'environnement :

```
int putenv (char *string)
```

- Retourne 0 en case de succès
- si `string` est de la forme `variable=value` et que `variable` :
 - n'existe pas, alors elle est ajoutée à l'environnement
 - existe, alors sa valeur est mise à jour

Attention : si `string` est modifiée ultérieurement, l'environnement le sera également !

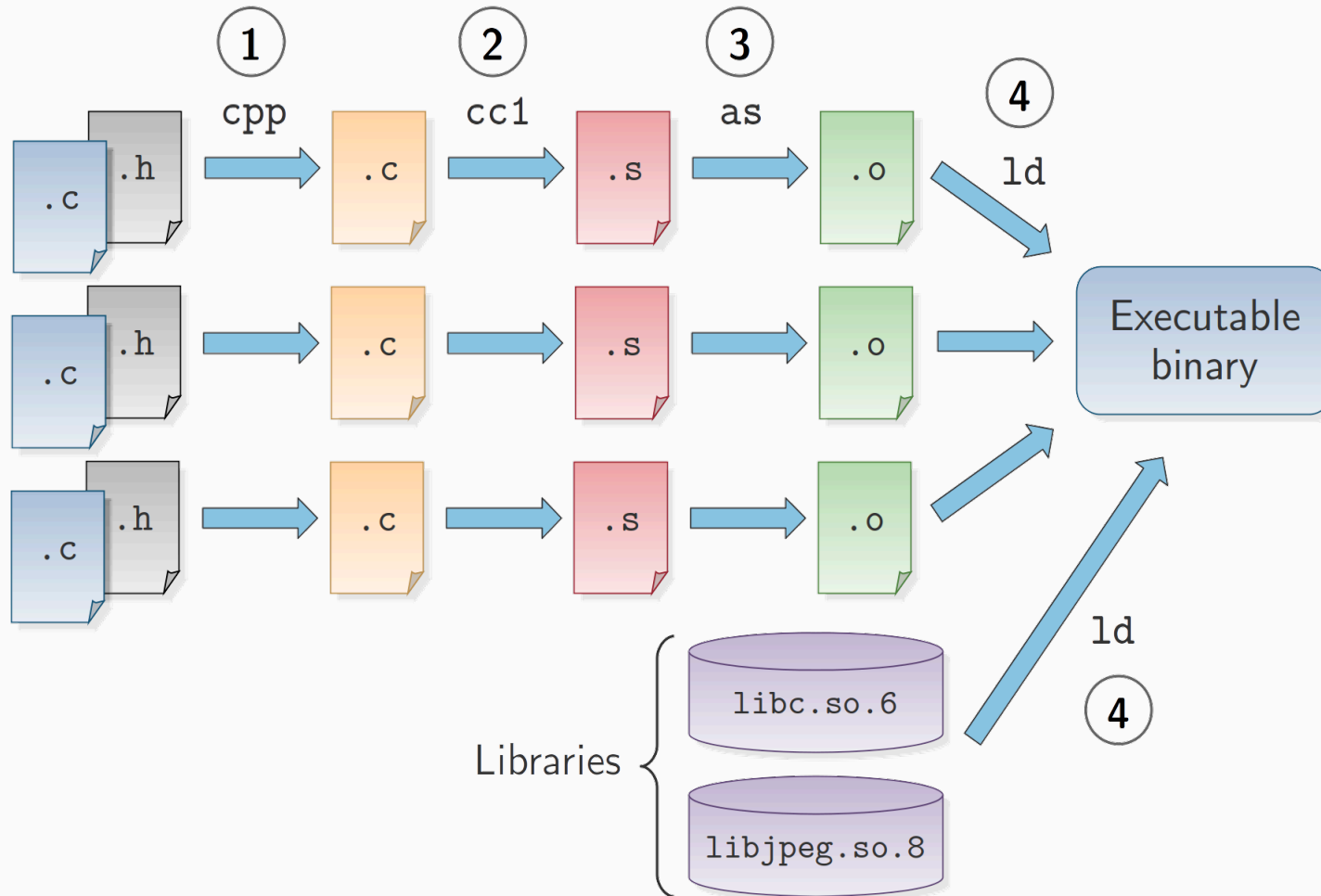
Génération d'un exécutable

```
gcc hello.c -o hello
```

Générer `hello` ci-dessus à partir de `hello.c` implique les 4 étapes **implicites** :

1. `gcc` exécute `cpp`, le **préprocesseur**, qui effectue de la substitution de texte et génère du code C (texte) → *substitution*
2. `gcc` exécute `cc1`, le **compilateur C**, qui compile le code C en code assembleur (texte) → *compilation*
3. `gcc` exécute `as`, l'**assembleur**, qui compile le code assembleur en code **objet** (code machine avec des références à des symboles : variables, fonctions, etc.) → *compilation*
4. `gcc` exécute `ld`, l'**éditeur de liens (*linker*)**, qui lie le code objet avec les librairies (et potentiellement d'autres codes objets) pour produire le binaire exécutable final → *édition des liens (*linking*)*

Génération d'un exécutable



Générer un programme exécutable (1/2)

- `gcc` appelle automatiquement `ld`
- Pour compiler et lier un programme il suffit donc d'utiliser `gcc` :

```
gcc prog.c -o prog
```

Les options principales de `gcc` :

Option	Effet
<code>-Wall</code>	Affiche tous les <i>warning</i> possibles
<code>-I dir</code>	Inclue le répertoire <code>dir</code> pour la recherche de fichiers <code>.h</code>
<code>-g</code>	Génère les informations symboliques pour le débogage

Générer un programme exécutable (2/2)

Exemple : générer l'exécutable `clientsvn` en le liant à la librairie `svn` :

```
gcc monClientSVN.c -o clientsvn -lsvn
```

Veillez à toujours placer les options `ld` à la fin de la ligne de compilation

Option	Effet
--------	-------

<code>-Ldir</code>	Inclue le répertoire <code>dir</code> pour la recherche de librairies
--------------------	---

<code>-lnom</code>	Inclue la librairie <code>libnom</code> (ne jamais indiquer le préfixe <code>lib</code>)
--------------------	---

Les libraires portent le nom `libnom` et se trouvent généralement dans :

```
/usr/lib  
/usr/lib64
```

Debugger un programme

Un programme, compilé avec les symboles de déboggage (option `-g`), peut être déboggué à l'aide de `gdb`, le débogger GNU :

```
gdb monProg
```

Voici quelques commande utiles de `gdb` (*help*):

<code>run</code>	exécute le programme jusqu'à un crash ou sa terminaison naturelle
<code>list</code>	liste les 10 lignes de code autour du point actuel
<code>break p</code>	positionne un <i>breakpoint</i> à la ligne ou la fonction <code>p</code>
<code>clear p</code>	supprime un breakpoint
<code>cont</code>	continue l'exécution du code
<code>step</code>	exécute la prochaine ligne de code
<code>print p</code>	affiche la valeur courante de la variable <code>p</code>
<code>info p</code>	information sur beaucoup de choses (<code>info locals</code> , <code>info</code>)
<code>quit</code>	quitte <code>gdb</code>

Débogger un programme ayant crashé

- Lorsque qu'un programme *crash* dû à un bug, l'OS peut générer un *coredump*
- Un *coredump* est une image de la mémoire du processus (donc son état) au moment du crash
- On peut débogger un fichier *coredump* avec **gdb** :

```
gdb monexecutable -c core
```

Grâce à **gdb** on peut observer :

- la ligne de code responsable du *crash*
- les valeurs des variables, des arguments des fonctions, de la pile, etc.

Les pointeurs

Concept

```
char lettre = 'C';  
char *ptrPile;  
char *ptrTas;  
ptrPile = &lettre;  
ptrTas = malloc(1024);  
strcpy(ptrTas, "HAL")
```

Déclaration

Valeur
(contenu)

Adresse

Valeur
(contenu)

Adresse

char
*ptrPile

char
*ptrTas

ptrTas

lettre

0x455C

0xAF51

...

'C'

0x4550

0x4554

0x455C

'H'

'A'

'L'

'\0'

...

0xAF51

Equivalence pointeurs ↔ tableaux

Un tableau (e.g. chaîne de caractères) est représentable par un pointeur et une taille

```
#define TAILLE_TAB 20
int main(int argc, char* argv[]) {
    char *chainePtr;
    char chaineTab[] = "Je suis bien content !";
    long long int *intPtr, i;
    long long int intTab[TAILLE_TAB];

    // Initialisation du tableau d'entiers
    for (i = 0 ; i < TAILLE_TAB; i++)
        intTab[i] = i+1;

    // Mettre les pointeurs sur les tableaux
    intPtr = intTab; //equivalent à intPtr = &intTab[0];
    chainePtr = chaineTab;

    // Affichage des equivalences
    printf("Adresse chainPtr: %s, contenu chaineTab: %s\n", chainePtr, chaineTab);
    printf("Adresse chainePtr: %x, adresse chaineTab: %x\n", chainePtr, chaineTab);
    printf("Contenu chainPtr: %s, contenu chaineTab: %s\n", chainePtr, chaineTab);

    for (i = 0; i < TAILLE_TAB; i++)
        printf("%ld = %ld\n", *(intPtr+i), intTab[i]);
}
```

Différence pointeurs ↔ tableaux

Attention, il reste des différences entre pointeurs et tableaux :

```
printf("Taille pointeur: %d, Taille tableau : %d\n", sizeof(intPtr),  
sizeof(intTab));  
// Output: Taille Pointeur: 4, Taille tableau: 160 (20*8, taille d'un long  
long int est 8 bytes)
```

Quiz 1

1. Si `intTab` du code précédent est passé en argument à une fonction, dans la fonction quelle sera la taille de :

```
sizeof(intTab)
```

2. Soit le code :

```
int *t = malloc(64);
```

- comment écrire `t[7] = 42;` sous forme de pointeur ?
 - comment écrire `int n = t[0];` sous forme de pointeur ?
3. Comment peut-on écrire l'expression `p[i]` sous forme de pointeur ?
4. Quelle est l'équivalence de `tab[i][j]` sous forme de pointeur ?

Quiz 2

Soit le code :

```
int n = 4;  
int *t = &n;
```

1. Que représente `&n` ?
2. Que représente `t` ?
3. Que représente `*t` ?
4. Que représente `&t` ?
5. Quelle est la valeur de `t` ?
6. Quelle est la valeur de `*t` ?
7. Quelle est la valeur de `&t` ?
8. Quelle est la valeur de `*(&t)` ?

Quiz 3

1. Soit le code :

```
char t[] = {1,0,0,0,2,0,0,0,9,10,11,12,13,14,15,16,17,0,0,0};  
char *a = t;  
int *b = (int *)t;  
void main() {  
    printf("%d %d %d %d %d %d", a[0], b[0], a[1], b[1], a[4], b[4]);  
}
```

- Sans exécuter ce programme, quelles seront les valeurs affichées ?

2. Quelle est la différence de taille entre :

```
sizeof(char *)
```

et :

```
sizeof(long int *)
```

Allocation dynamique : principe

L'allocation dynamique se fait sur **le tas** :

- Permet d'allouer de la mémoire sans savoir à l'avance quelle est la quantité nécessaire exacte
- La taille de la mémoire allouée dépend donc de l'exécution du programme (i.e. de l'utilisateur et du système)
- Cette allocation est réalisée dans une zone de la mémoire du processus appelée **tas** (*heap*)

Allocation dynamique : comment ?

Des fonctions sont disponibles dans `stdlib.h` pour effectuer l'allocation dynamique de la mémoire :

- `malloc(size)` : retourne un pointeur sur une zone de mémoire allouée de taille `size` en bytes
 - retourne NULL en cas d'échec
- `calloc(count, size)` : retourne un pointeur sur une zone allouée de `count` éléments, chacun de taille `size` (en bytes), le tout initialisé à 0
 - retourne NULL en cas d'échec
- `free(ptr)` : libère l'espace mémoire pointé par `ptr`
 - attention : ne remet pas `ptr` à NULL !

Pointeurs et const

Quelle sont les différences entre :

```
int n = 42;  
const int *p = &n;           // (1)  
int const *p = &n;           // (2)  
int *const p = &n;           // (3)  
const int *const p = &n;     // (4)
```

1. La valeur pointée par `p`, `*p` est constante et ne peut être modifiée ; donc `*p = 10` provoquera une erreur de compilation. Par contre, `p` peut-être modifié ; par exemple `p = &v` ou `p = p++`
2. Une autre manière d'écrire (1) donc équivalent
3. Le pointeur `p` est constant et ne peut être modifié, donc `p = &v` provoquera une erreur de compilation. Par contre, la valeur pointée par `p` peut être modifiée; exemple : `*p = 10` est valide
4. Le pointeur `p` ainsi que la valeur pointée par `p`, `*p` sont tous deux constants ! Donc, ni l'un ni l'autre ne peuvent être modifiés