

# L3 MI — Programmation

Pierre Karpman

`pierre.karpman@univ-grenoble-alpes.fr`  
`https://membres-ljk.imag.fr/Pierre.Karpman/tea.html`

2022-09-05

Présentation

Éléments de langage

- ▶ Cours de programmation adossé au cours d'algorithmique
- ▶ 15 heures de TD (1 créneau par semaine)
- ▶ 30 heures de TP (2 créneaux par semaine)
  - ▶ Quelques exercices simples (au début) puis des sujets plus longs sur plusieurs séances
- ▶ Évaluation, 3 notes : contrôle continu sur papier, rendu de TPs, un examen terminal (dates à préciser)

Pour implémenter *efficacement* un algorithme, il est souvent essentiel de :

- ▶ Instancier les types concrets des données (« entier » → `int` ?  
`unsigned int` ? `long int` ? `unsigned long int` ?  
`short int` ? `unsigned short int` ? `float` ? `double` ? ...)
- ▶ Instancier des structures de données (tableau trié ? table de hachage ? arbre binaire de recherche ? tas ? ...)
- ▶ Gérer l'allocation mémoire
- ▶ Exploiter au mieux le jeu d'instruction et l'architecture du processeur (ou de la carte graphique...)
- ▶ (Traiter efficacement les entrées/sorties)

## Langage du cours : C

- ▶ Langage des '70, avec plusieurs révisions (C89, C99, C11, C18, ...)
- ▶ Compilé
- ▶ Avec gestion explicite de la mémoire (allocation, désallocation)
- ▶ Interfaçage aisé avec de nombreux systèmes d'exploitation
- ▶ Permet d'inclure directement du code assembleur
- ▶ Syntaxe proche du Java

# Le C, pourquoi ?

---

- ▶ Permet de rendre explicites les aspects « bas-niveau » de la programmation
- ▶ Donne beaucoup de contrôle sur le code exécuté
- ▶ Bon point d'entrée pour la programmation système ; langage utilisé par ex. dans le noyau Linux
- ▶ Langage utilisé dans beaucoup de bibliothèques (notamment de calcul scientifique)

Présentation

Éléments de langage

# Structure de base d'un programme

---

Cf. programme d'exemple @ <https://membres-ljk.imag.fr/Pierre.Karpman/haiworld2022.c>



## Quelques types de base

---

- ▶ Absence de type : `void`
- ▶ Entiers (non) signés de taille fixe, définis dans `stdint.h` :  
`uint8_t`, `uint16_t`, `uint32_t`, `uint64_t`,  
`int8_t`, `int16_t`, `int32_t`, `int64_t`
- ▶ Pareil, mais de taille non nécessairement fixe :  
(`unsigned`) `char`, `short`, `int`, `long`, `long long`.  
Utilisation fortement déconseillée si la taille est importante
- ▶ Nombres flottants à simple et double précision et à précision étendue (non standard) : `float`, `double`, `long double`
- ▶ Un certain nombre d'alias pour des types entiers (notamment en système) : `size_t`, `time_t`, ...
- ▶ On peut « facilement » effectuer des conversions entre plusieurs types (cf. exemples ; plus de détails plus tard)

# Déclaration de variable

- ▶ Variables simples : suivant la syntaxe `type nom_var;`, par ex.  
`uint64_t x;`
- ▶ Tableaux : suivant la syntaxe  
`type_des_elts nom_var[taille];`. L'indexation des tableaux commence à zéro
- ▶ Plusieurs variables de même type ou pointant vers le même type peuvent être déclarées à la suite, par ex  
`double a, b[2];`
- ▶ Les variables peuvent être déclarées à n'importe quel point dans une fonction, et ont pour portée le bloc de déclaration (délimité par `{...}`). Celui-ci peut être *implicite* (par ex. autour d'un `if`).
- ▶ On peut combiner déclaration et affectation, par ex :  
`uint8_t x[2] = {0x1E, 0xE7};`
- ▶ Pointeurs, types complexes : dans quelques semaines...

# Expressions Booléennes

- ▶ Pas de type Booléen vrai/faux dédié *avant C99* : utilisation d'entiers où  $0 \equiv \text{faux}$ ,  $\neq 0 \equiv \text{vrai}$ 
  - ▶ Toute expression convertible en un type entier est utilisable, par ex. une expression d'affectation !
- ▶ Depuis C99, `stdbool.h` définit un type `bool` et des littéraux `true` et `false`
- ▶ Négation logique avec `!`
- ▶ Test d'égalité avec `==` (à ne pas confondre avec l'affectation `=`), inégalité avec `!=`
- ▶ Opérateurs logiques : `&&` (ET) et `||` (OU); ne pas confondre avec `&` (ET bit à bit) et `|` (OU bit à bit)
  - ▶ ? Les expressions composées sont évaluées avec une stratégie *early abort* : par ex. dans `A && B`, si A est fausse alors B n'est jamais évaluée  $\Rightarrow$  attention aux effets de bord !
- ▶ Plus d'exemples plus tard...

# Arithmétique entière

On dispose des opérateurs arithmétiques classiques  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ ,  $\%$ ,  $<$ ,  $<=$ ,  $>$ ,  $>=$

- ▶ La division par  $/$  est entière (pas de conversion implicite)
- ▶ Pour les entiers *non signés* de  $n$  bits, les calculs sont faits modulo  $2^n$ ; pour les entiers signés, les *overflows* ou *underflows* sont **non définis** ("UB") (mais des options de compilation existent pour spécifier le comportement, par ex. `-fwrapv` et `-fno-strict-overflow` pour GCC)
- ▶ L'opérateur modulo  $\%$  renvoie *un* reste de la division Euclidienne, pas forcément positif :
  - ▶ `29 % 15` renvoie `14`
  - ▶ `-1 % 15` renvoie `-1`
  - ▶ `(29 % 15) == (-1 % 15)` renvoie faux
  - ▶ Mais pas de problème de comparaison si tous les arguments sont positifs par exemple

On dispose de la plupart des opérateurs classiques mais

- ▶ Certains sont remplacés par des fonctions, par ex. `fmod`
- ▶ D'autres fonctions usuelles sont aussi implémentées dans la bibliothèque mathématique standard, par ex. `log`, `cos`, `sqrt`, ...
- ▶ La comparaison de nombres flottants est *délicate* (pas spécifique au C, mais à la norme IEEE 754 sous-jacente) Par ex., la notion d'égalité est mal définie...
- ▶ Plus de détails plus tard...

Les nombres entiers ou flottants peuvent être écrits (entre autres) dans les formats suivants

- ▶ Entiers décimaux signés ou non signés par ex. `-2501`
- ▶ Entiers non signés hexadécimaux, par ex. `0xDEADAF`
- ▶ Entiers non signés en octal par ex. `0777` (un peu vicieux)
- ▶ Entiers `long` ou `long long` signés ou non, par ex. `1ULL`
- ▶ Flottants pointés décimaux, par ex. `107.3`
- ▶ Flottants pointés hexadécimaux, par ex. `0X1.6A09E667F3BCDp+0`

- ▶ `if (cond) { ... } else { ... }`
- ▶ `for (init ; cond ; iter) { ... }`
- ▶ `while (cond) { ... }`
- ▶ `do { ... } while (cond);`
- ▶ `switch ...` (cf. exemple)

L'interruption de l'exécution d'une boucle peut se faire avec `break`

Note : la délimitation des blocs avec `{}` est facultative si le bloc est composé d'une seule expression

# Conditionnelle à trois opérandes

---

- ▶ Il existe en C une expression à trois opérandes :  $A \text{ ? } B \text{ : } C$  qui vaut B si A est vraie et C sinon
- ▶ Utile notamment pour les affectations conditionnelles, par ex.  
 $a = a \geq 0 \text{ ? } a \text{ : } -a;$



Les deux fonctions C d'entrées/sorties les plus simples sont `printf` et `scanf`

- ▶ `printf` prend comme argument une chaîne de caractères "... " contenant éventuellement un ou plusieurs spécificateurs de format, suivie d'un nombre égal d'expressions du type correspondant. Le résultat est affiché sur la sortie standard `stdout`
- ▶ Par ex. `printf("HAI WURLD\n");` affiche le texte "HAI WURLD" suivi d'un retour à la ligne spécifié par le caractère spécial `'\n'`
- ▶ Par ex. `printf("1 + 1 = %d\n", 1 + 1)` affiche "1 + 1 = 2" suivi d'un retour à la ligne

## Quelques exemples

- ▶ `"%d"` : entier signé, affichage décimal
- ▶ `"%u"` : entier non signé, affichage décimal
- ▶ `"%lu"` : entier non signé long via le modificateur `l`, affichage décimal
- ▶ `"%x"` : entier non signé, affichage hexadécimal avec lettres en minuscule
- ▶ `"%02X"` : entier non signé, affichage hexadécimal avec lettres en majuscules avec au moins deux chiffres
- ▶ `"%.2f"` : double en notation pointée décimale avec au moins deux décimales
- ▶ `"%e"` : double en notation scientifique décimale
- ▶ `"%A"` : double en notation pointée hexadécimale majuscule

- ▶ `scanf` prend comme argument une chaîne de caractères contenant un ou plusieurs spécificateurs de format, suivie d'un nombre égal de *pointeurs* de type correspondant. Les données sont lues depuis l'entrée standard `stdin`, interprétées comme spécifié par le format, et stockées aux adresses pointées. Par ex :

```
unsigned a, b;  
if (scanf("%u %x", &a, &b) == 2)...
```

attend deux entiers non signés, l'un écrit en décimal, l'autre en hexadécimal, et stocke le résultat dans `a` et `b`

- ▶ Les formats sont similaires à ceux de `printf`
- ▶ Retourne le nombre d'entrées lues avec succès ou EOF
- ▶ Plus de détails sur les pointeurs dans quelques semaines

## Entrées (bis)

---

- ▶ Lire des entrées de façon fiable et sûre est *difficile* en C !
- ▶ Par ex. il est nécessaire de contrôler la valeur de retour de `scanf` pour éviter d'éventuelles lectures non initialisées (UB)

```
int x;  
if (scanf("%d", &x) != 1) // oui  
    // traitement d'erreur  
else  
    // ...  
...  
int y;  
scanf("%d", &y); // non
```

- ▶ Dans le cadre de ce cours : (presque) pas d'entrées → problématique secondaire (mais importante en général)

# Déclaration de fonctions

---

- ▶ Une fonction C est (généralement) déclarée suivant la syntaxe `type_retour nom(type_arg1 nom_arg1, ...)`
- ▶ On peut directement faire suivre la déclaration par la définition en faisant suivre le prototype d'un bloc {}, ou uniquement la déclarer en terminant le prototype par ;
- ▶ En général le nombre d'arguments est fixe mais il existe des exceptions comme `printf`
- ▶ Pour pouvoir être utilisée dans un programme, une fonction doit avoir été déclarée « plus haut » dans le fichier

## Fonctions : exemple mutuellement récursif

---

```
unsigned even(unsigned n); // déclaration
unsigned odd(unsigned n) { // déclaration & définition
    if (n == 0)
        return 0;
    else
        return even(n - 1);
}
unsigned even(unsigned n) { // définition
    if (n == 0)
        return 1;
    else
        return odd(n - 1);
}
```

Exercice : comment obtenir le même résultat plus efficacement ?

# Politique de passage d'arguments

---

- ▶ Les arguments de type simple (par ex. `int`) sont passés par *valeur*
- ▶ Les arguments de type tableau sont passés par *référence*

Le *préprocesseur* joue un rôle important dans la compilation d'un programme C. Nous ne verrons aujourd'hui qu'un aspect simple mais essentiel, la directive *#include*

- ▶ *#include <filename>* recopie le contenu du fichier de nom *filename* à l'emplacement de la directive dans le fichier courant. Ce fichier doit se trouver dans un répertoire d'une liste préconfigurée par le compilateur
- ▶ *#include "path/filename"* même comportement, mais pour un fichier accessible depuis le chemin *path*
- ▶ (Dans tous les cas, la directive doit être en début de ligne sans aucune espace ou tabulation)



L'usage principal de `#include` est de copier des fichiers d'en-tête de déclaration de fonctions ou de définition de types, par ex. :

- ▶ `#include <stdio.h>` rend disponible la déclaration des fonctions `printf`, `scanf`, etc.
- ▶ `#include <math.h>` rend disponible la déclaration des fonctions de la bibliothèque mathématique standard
- ▶ `#include <stdint.h>` rend disponible la déclaration des types entiers de taille fixe
- ▶ (Plus de détails sur les fichiers `.h` la semaine prochaine)

# La fonction main

---

La fonction `main` est le point d'entrée d'exécution d'un programme C

- ▶ Tout programme doit comporter un point d'entrée
- ▶ Si le programme est écrit dans un unique fichier, ce fichier doit contenir une fonction `main` de prototype `int main(int argc, char **argv)`. Pour l'instant nous pouvons ignorer les arguments (plus de détails dans quelque temps)
- ▶ Dans le cas d'une compilation séparée en plusieurs fichiers, seul l'un d'entre eux doit fournir un `main` (plus de détails plus tard)

- ▶ La valeur renvoyée par main indique si l'exécution du programme s'est bien passée (indiqué par 0 ou EXIT\_SUCCESS) ou non
- ▶ Sous UNIX, on peut récupérer ce code de retour dans la variable `?`, accessible par ex. avec `> echo $?`
- ▶ Exemple d'un programme complet qui ne fait rien avec succès :

```
int main(int argc, char **argv)
{
    return 0;
}
```

- ▶ Quelques compilateurs C : gcc, clang, icc, tcc, cc (alias)
- ▶ Pour compiler un programme écrit dans un seul fichier `prog.c`, `> cc prog.c` est suffisant. Ceci génère un exécutable `a.out` ; pour donner un nom différent, on peut utiliser l'option `-o`, par ex. `> cc -o prog prog.c`
- ▶ Nous verrons prochainement comment compiler (efficacement) des programmes écrits en plusieurs fichiers

- ▶ Beaucoup de fonctions C sont documentées dans le manuel UNIX dans les sections 2 (appels systèmes) et 3 (bibliothèque standard C)
- ▶ Par ex. `> man 3 printf` ou `> man math` sont fort utiles, de même que `> man gcc`
- ▶ Wikipedia (notamment en anglais) recense beaucoup d'information utile (notamment sur la syntaxe, les opérateurs, les types...)
- ▶ La bibliothèque (par ex. *Programmer en langage C*, Delannoy)
- ▶ Ou encore ModernC (en anglais, gratuit), Effective C (en anglais, payant), Hacker's Delight (en anglais, payant, plus édité?), bithacks (en anglais, gratuit)
- ▶ valgrind (pour débbuger, notamment les erreurs mémoire)
- ▶ T-Snippet (pour tester des fragments de code)