Langage C

ENSTA - TC 1ère année

François Pessaux

U2IS

2016-2017

francois.pessaux@ensta-paristech.fr

Introduction

But de ce cours

- Vous avez vu :
  - la programmation,
  - en Python,
  - de l'algorithmique...
- Nous allons voir :
  - un nouveau langage : C,
  - des aspects « système d'exploitation »,
  - encore un peu d'algorithmique.

Règles d'or

- Ne pas hésiter à poser des questions. Même en amphi.
- Dites-vous que si vous avez une question « bête », au moins 1/4 de la promo se pose la même.
- Ne s'avouer ni perdu ni vaincu. Demander des explications.
- Ne pas hésiter à dire *« M'sieur, vous vous z'êtes pas trompé sur bla ? »*
- Mon bureau et mon mail sont facilement accessibles.

Architecture

« Vous avez dit ordinateur ? »

- *Mais pour quoi faire ?* Pour traiter de l'information.
- *« Information ? »*
  - C'est un message.
  - Écriture avec des symboles : code.
  - Monde numérique : code binaire.
- Architecture d'un ordinateur :
  - Mémoire(s) : pour stocker de l'information.
  - Microprocesseur (CPU) : pour travailler l'information.
  - Périphériques : pour échanger avec *« l'extérieur »*.
- *« Traitement »* ⇒ description de *« comment »* : programme.
- Architecture de Von Neumann :
  - Le programme est stocké dans la mémoire...
  - ... dans la même mémoire que les données (informations).

La mémoire

- Pourquoi en avoir besoin ?
  - Certains traitements peuvent se faire directement : $x \mapsto x+1$.
  - Intervention de la notion de « *temps* » : exemple, un compteur.
  - $\Rightarrow$ Besoin de se rappeler de (d'un) « *l'état* » précédent.
- Différents fonctionnements de mémoire :
  - RAM (Random Access Memory) : lecture / écriture – Volatile.
  - ROM (Read Only Memory) : lecture – Persistante.
  - EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) : lecture (/ écriture mais en mode de fonctionnement particulier) – Persistante.
- Différents types de mémoire :
  - Mémoire de masse (disques mécaniques) : ~ 10 *ms*
  - Mémoire de masse (disques SSD) : $\sim 0.1-0.3$ *ms*
  - Mémoire vive (RAM) externe au CPU : $\sim 40-50$ ηs
  - Mémoire cache $\pm$ interne au CPU : $\sim 5-10$ ηs
  - Registres : ~ 1 ηs

Le microprocesseur

- C'est l'unité qui « *travaille* ».
- Idéalement segmentée en 2 parties :
  - L'unité arithmétique et logique (UAL / ALU) : effectue les calculs.
  - L'unité de contrôle : décodage et séquencement des instructions.
- Contient de la mémoire très rapide (~ 1 ηs) : les registres.
- « *Instruction* » : opération élémentaire effectuée par le CPU (addition de 2 registres, copie registre $\leftrightarrow$ mémoire, registre $\leftarrow$ registre, décalages, sauts ...
- Chaque CPU (x86, ARM, amd64 ...) est différent, a son propre jeu d'instructions.

Le langage

Le langage C

- Déjà vu : Python.
- Programmation, algorithmique ≠ langage.
- Langage = support, mots pour le dire.

- Maintenant. . . C.
- Créé B. Kernighan, D. Ritchie et K. Thompson aux Bell Labs en 1972.
- Une mine d'infos : `http://www.lysator.liu.se/c/`

C pourquoi ?

[MODE publicité=ON]

- Très utilisé dans l'industrie malgré certains défauts/difficultés.
- « *Souple* » (programmation haut et bas niveau).
- Disponible quelle que soit (à 99.9999%) l'architecture.
- Seul moyen « *simple* » de piloter du matériel.
- Excellentes performances (sauf sur un algo pourri bien sûr).

[MODE publicité=OFF]

[MODE inconvénient=ON]

- Gestion de la mémoire explicite.
- Structures de données de base rudimentaires.
- Fait apparaître des détails de compilation du langage.

[MODE inconvénient=OFF]

Python vs C

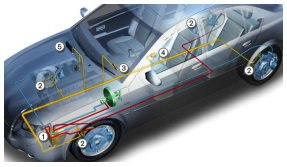
```
up_to_number = 10000
print("Prime numbers up to " + str(up_to_number) +
    ":")
for number in range(2, up_to_number + 1):
    isprime = True
    for divisor in range(2, number - 1):
        remainder = number
        while (remainder >= divisor):
            remainder = remainder - divisor
        if (remainder == 0):
            isprime = False
    if isprime:
        print(number)
```

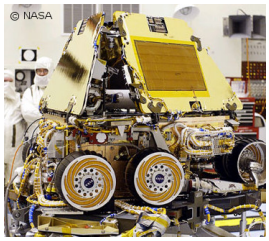
```
#include <stdio.h>
#include <stdbool.h>
#define UP_TO_NUMBER (10000)
int main () {
  unsigned int number ;
  printf ("Prime numbers up to %d:\n", UP_TO_NUMBER) ;
  for (number = 2; number <= UP_TO_NUMBER; number++) {
    unsigned int divisor ;
    bool isprime = true ;
    for (divisor = 2 ; divisor < number; divisor++) {
      unsigned int remainder ;
      remainder = number ;
      while (remainder >= divisor) {
        remainder = remainder - divisor ;
      }
      if (remainder == 0) isprime = false ;
    }
    if (isprime == true) printf ("%d\n", number) ;
  }
  return (0) ;
}
```

```
mymac:/tmp$ time python allprimes.py > /dev/null
real 0m42.976s
user 0m42.960s
sys 0m0.014s
mymac:/tmp$ time ./allprimes.x > /dev/null
real 0m0.887s
user 0m0.885s
sys 0m0.002s
```

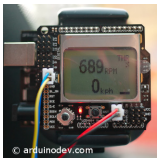
Contrôler des systèmes physiques

Matériel commandé par programme





(Loading gear.mp4)



L'incontournable premier programme en C

joe.c

```
#include <stdio.h> /* Pour accéder à la fonction printf. */

int main ()
{
  printf ("Eat at Joe's\n") ;
  return (0) ;
}
```

- La plus simple manière d'afficher une simple chaîne de caractères.
- Équivalent au programme Python :

```
print "Eat at Joe's"
```


L'incontournable premier programme en C

joe.c

```
#include <stdio.h> /* Pour accéder à la fonction printf. */

int main ()
{
  printf ("Eat at Joe's\n") ;
  return (0) ;
}
```

- `#include <>` : Demander accès aux fonctions entrée/sortie (`printf`).
- `/* ... */` : Commentaires.
  - Ignorés par le langage.
  - **Mais** pas par les lecteurs !
  - Servent à la documentation du code.
  - **Documentez** vos programmes !
- Contrairement à Python, espaces non significatifs...
- mais continuez à **indenter** votre code !

L'incontournable premier programme en C

joe.c

```
#include <stdio.h> /* Pour accéder à la fonction printf. */

int main ()
{
  printf ("Eat at Joe's\n") ;
  return (0) ;
}
```

- Fonction `main` : **Le** point d'entrée du programme.
- Toujours automatiquement appelée en premier.
- Un programme en C doit toujours contenir **une** fonction `main`.
- Type `int` (entier) au début : type renvoyé par `main`.
- Pour le `main` : toujours un entier.

L'incontournable premier programme en C

joe.c

```
#include <stdio.h> /* Pour accéder à la fonction printf. */

int main ()
{
  printf ("Eat at Joe's\n") ;
  return (0) ;
}
```

- Fonction `printf` : affiche un message dans le terminal.
- `"Eat at Joe's\n"` : chaîne de caractères (à afficher).
  - `\n` : représente le caractère *« retour à la ligne »*.
- `;` Point-virgule : fin d'instruction, marque la séquence.

L'incontournable premier programme en C

joe.c

```
#include <stdio.h> /* Pour accéder à la fonction printf. */

int main ()
{
  printf ("Eat at Joe's\n") ;
  return (0) ;
}
```

- Retour de la fonction `main` :
  - Code de sortie du programme.
  - Existe pour toutes les commandes Unix
  - Permet de tester si le programme s'est exécuté normalement.
  - Convention : 0 ≡ « OK ».

Compilation et exécution d'un programme

- Édition du source :
  - `> emacs joe.c &`
  - `emacs` : Éditeur de texte, permet de taper le source.
  - « *Human-readable* ».
  - Vous pouvez utiliser n'importe quel éditeur (vi, vim, joe...)
- Compilation :
  - `gcc joe.c` ou `gcc joe.c -o first.x`
  - `gcc` (compilateur) transforme le source en exécutable.
  - « *Computer-readable* » : compilateur ≡ traducteur.
  - Par défaut, nom de l'exécutable = « a.out ».
  - Option `-o` : permet de spécifier un nom d'exécutable.
- Exécution :
  - `./a.out` ou `./first.x`
  - ... en fonction du nom de votre exécutable.
  - Exécute votre programme dans le répertoire courant.
  - « ./ » devant car le répertoire courant n'est pas dans le `PATH`.

Le compilateur gcc

- Compilateur : programme transformant un source en exécutable.
- Dispose de nombreuses options dont :
  - `-W` : Activer des warnings (`-Wall` : tous, plus que recommandé).
  - `-g` : Activer les infos de débug.
  - `-I` : Ajouter des répertoires où trouver les entêtes (`#include`).
  - `-c` : Compile sans « *linker* » (lorsque plusieurs fichiers sources).
  - `-L` : Transfère des options au « *linker* »
  - `-O0 -O1 -O2 -O3` : Optimise pas, peu, plus, beaucoup, (trop).
  - `-l` : Lier une bibliothèque (Ex : `-lm` pour la bibliothèque maths).
- Si tout s'est bien passé, le compilateur n'affiche rien.
- S'il affiche une erreur, l'exécutable n'est pas créé.
- S'il affiche un/des warning/s, l'exécutable est créé, mais risque de ne pas fonctionner correctement.

Les messages d'erreur et d'avertissement

- Erreurs et avertissements sont détaillés par `gcc` !
  - nature de l'erreur,
  - numéro de ligne du source incriminée.

⇒

Quelques constructions élémentaires

Expressions (de base) du langage

- À partir d'expressions de base, on combine les expressions.
- Expressions de base : les variables et les littéraux.
  - Variables : toute variable déclarée et de portée accessible.
  - Entiers : `4  -5`
  - (~ Booléens : `true  false`)
  - Caractères : `'U'  'n'`
  - Flottants : `-4.6  5e-12`
  - Chaînes : `"plop"  "\tGlop\n"`

Composition d'expressions

- Arithmétique : entre entiers et/ou flottants.
  - +, -, /, * avec leur sens « habituel », % (modulo)
  - Ex : `4 - (5 * 7)`
- Relationnel (« tests ») : entre expressions de même type.
  - Rem : conversions implicite entre scalaires (entiers, flottants, caractères et booléens).
  - == (égalité), != (inégalité), <, >, <=, >=.
  - Ex : `y <= 5  (6 * 4)< x`
- Logique : entre booléens (donc implicitement, entiers).
  - && (et), || (ou), ! (négation).
  - Ex : `(y <= 5)&& ((6 * 4)< x)`
  - && et || sont *« paresseux »*.
- Binaire (« bit-à-bit ») : entre entiers / caractères.
  - Fonction logique opérant sur chacun des bits de la représentation.
  - ~ (négation), ^ (ou exclusif), & (et), | (ou).
  - Ex : `(~x ^ y)^ 0xFE`

La mémoire

- Avant d'être exécuté, le programme est chargé en mémoire.
- Un *« pointeur »* indique où en est l'exécution.
- À chaque instruction il avance d'une *« case »*.
- Il y a parfois des sauts (appels de fonctions, tests, boucles...).
- Pendant l'exécution, le programme peut aussi réserver de la mémoire :
  - Déclaration (création) de variables, réceptacles d'information.
  - À chaque variable correspond une *« case mémoire »*.

Nécessité de typage

- Mémoire : contient de l'information codée en binaire.
- Nous avons vu quelques formes de données.
- ⇒ un octet en mémoire peut avoir différentes significations.
- L'octet 01010111 peut représenter :
  - l'entier 87 ($=64+16+4+2+1$),
  - le flottant $4.85 \cdot 10^{-270}$,
  - (le caractère 'W'),
  - une instruction en langage machine,
  - une adresse mémoire, etc ...
- ⚠ En C, ce n'est pas comme en Python !
- Il faut associer un type à chaque case mémoire, chaque variable !
- C'est son type (lors de la déclaration) qui va définir sa signification réelle.

Types de base en C

- `char` : caractères (on y reviendra).
- `int` : entiers (on y reviendra)..
- `float` : flottants (simple précision).
- `double` : flottants (double précision).
- Chaînes de caractères pas *« natives »* (on y reviendra).
- Pas de « vrais » booléens : utilisation d'entiers.
  - $0 \equiv$ « faux ».
  - Autre $\neq 0 \equiv$ « vrai ».
  - Type `bool` avec les constantes `true` et `false` disponibles en utilisant le fichier d'entête `stdbool.h`.

Déclaration et initialisation de variable (1)

```
int main ()
{
  float c ;
  int i, j = 42 ;
  double b ;
  b = 0.00345 ;
  c = 3.14159 ;
  return (0) ;
}
```

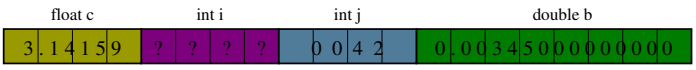
- On déclare une variable en donnant son type suivi de son nom.
- Cela réserve une case mémoire contenant *a priori* une valeur quelconque.
- L'initialisation fixe sa valeur.
- Cela peut se faire dès la déclaration, ou après.

- Le tout c'est de ne pas lire dans une variable avant son initialisation !
- Sa valeur est « ce qu'il y avait dans la mémoire ».
- Ça n'a aucun sens de l'utiliser, c'est une erreur.

Déclaration et initialisation de variable (2)

```
int main ()
{
  float c ;
  int i, j = 42 ;
  double b ;
  b = 0.00345 ;
  c = 3.14159 ;
  return (0) ;
}
```

- Avec ce code, la mémoire ressemble (+/−) à :



L'affectation

- Dénotée par le signe = (à ne pas confondre avec ==).
- Donne une valeur à une variable.
- Besoin de « compatibilité » entre type de la case mémoire et type de la valeur à stocker !
- Si les types sont les mêmes, aucun problème.
- Si les types sont *« compatibles »*, transformation implicite :
  - Entier ↤ entier avec signe et/ou taille différents,
  - Flottant ↤ entier,
  - Entier ↤ caractère.
- . . . **mais** attention aux problèmes de précision et débordement !
- Et sinon, les types n'ont rien à voir (ex : chaîne à la place d'un entier) : erreur de typage par le compilateur.

Instructions d'affectation-arithmétique abrégées

- Il existe des versions courtes des opérations *« courantes »* :

```
int i = 0 ;

i++ ;                   // i = i + 1 ;
i-- ;                   // i = i - 1 ;
i += 3 ;                // i = i + 3 ;
i -= 3 ;                // i = i - 3 ;
i *= 3 ;                // i = i * 3 ;
i /= 3;                 // i = i / 3 ;
i %= 3 ;                // i = i % 3 ;
i |= 3 ;                // i = i | 3 ;
i &= 3 ;                // i = i & 3 ;
i ^= 3 ;                // i = i ^ 3 ;
```


Instruction conditionnelle (`if`)

- `if` (*expression*) { *instruction*(*s*) ; } :
  - *instruction*(*s*) exécutée(s) si *expression* renvoie $\neq 0$

  instruction(s) exécutée(s) si expression renvoie $\neq 0$.
- `if` (*expression*) { $instruction_1(s)$; } `else` { $instruction_2(s)$; } :
  - $instruction_1(s)$ exécutée(s) si *expression* renvoie $\neq 0$
  - sinon, $instruction_2(s)$ exécutée(s).
- Condition toujours entre parenthèses !
- Remarquez la construction { ... } : groupement de plusieurs instructions : *« bloc »*.
  - ⚠ Différent de Python où l'indentation jouait ce rôle !

« Tant que » ... faire : la boucle `while`

- `while` (*expression*) { *instruction*(*s*) }
- Sémantique :
  1. Si *expression* s'évalue en *« vrai »*
     1.1 Exécuter *instruction*(*s*).
     1.2 Retourner en 1.
- Ex : $U_{n+1} = \begin{cases} \frac{U_n}{2} & \text{Si } U_n \text{ est pair} \\ 3 * U_n + 1 & \text{Sinon} \end{cases}$

syracuse.c

```
int main ()
{
  int x = 134560 ;
  while (x != 1) {    // Répéter tant que x est différent de 1.
    if (x % 2 == 0)   // Si x est pair.
      x = x / 2 ;     // On le divise par 2.
    else x = 3 * x + 1 ;
  }
  return (0) ;
}
```

Sortie à l'écran printf (1)

- Nécessite : `#include <stdio.h>`
- `printf ("Eat at Joe's\n");`
- `printf ("%d = %d + %d\n", x + y, x, y);`
- Format= chaîne de caractères contenant (ou pas) des séquences %♪.

%d	un int
%ld	un long int en décimal
%u	un unsigned int en décimal
%x	un int en hexadécimal
%f	un float
%lf	un double
%e	un double en notation scientifique
%.7lf	un double avec 7 chiffres après la virgule
%07d	un int en décimal sur 7 digits (remplissement frontal avec des 0)
% 7d	un int en décimal sur 7 digits (remplissement frontal avec des ' ')
%c	un char (comme caractère ASCII, pas comme entier)

Sortie à l'écran avec printf (2)

```
#include <stdio.h>

int main ()
{
  printf ("%d\n", 42) ;                42
  printf ("%ld\n", 42) ;               42
  printf ("%u\n", 42) ;                42
  printf ("%x\n", 42) ;                2a
  printf ("%f\n", 42.0) ;              42.000000
  printf ("%e\n", 42.0) ;              4.200000e+01
  printf ("%.7f\n", 42.0) ;            42.0000000
  printf ("%07d\n", 42) ;              0000042
  printf ("% 7d\n", 42) ;                   42
  printf ("%c\n", 42) ;                *
  return (0) ;
}
```