Système

Exécutable et compilation

Gilles Roussel

http://igm.univ-mlv.fr/~roussel/L22/

Licence 2

6 mars 2011

Qu'est-ce qu'un exécutable ?

- Un fichier
- Ayant des droits d'exécution
- Contenant du code machine ou des données à interpréter
  - 2 premiers octets (*Magic Number*) du fichier permettent de savoir comment traiter le contenu

Quel fichier est exécuté ?

- Fichier dont le chemin d'accés est précisé
  - `/bin/ls` (chemin absolu)
  - `./ls` si vous êtes dans le répertoire `/bin` (chemin relatif)
- Pourtant je peux taper `ls` sans préciser le chemin ?
- Le fichier trouvé dans une liste de répertoires
  - Défini dans la variable d'environnement `PATH`

    ```
    # echo $PATH
    /usr/local/bin:/usr/bin:/bin
    ```
  - Premier fichier trouvé est exécuté. La commande `which` permet de savoir quel est le fichier effectivement exécuté.

    ```
    # whih ls
    /bin/ls
    ```

J'ai donné les droits en exécution, pourtant la commande ne s'exécute pas !

- Il faut avoir les droits en exécution sur l'ensemble des répertoires de son chemin d'accés
- Droits sur les répertoires donnés par la commande `ls -l`

```
# ls -ld .
drwxrwxr-x  4 roussel roussel 4096 fév 10 14:28 .
```

- `r` indique que le contenu du répertoire peut être listé ; c'est-à-dire qu'il est possible de réaliser un appel à `ls` avec le répertoire en argument ;
- `x` indique qu'il est possible d'accéder au répertoire ; en particulier, il est possible de réaliser un appel à `cd` avec le répertoire en argument ;
- `w` indique qu'il est possible de créer un fichier dans le répertoire

Parenthèse : « À quel groupe j'appartiens ? »

La commande `id` permet de connaître les groupes auxquels vous appartenez et votre groupe courant

```
# id
uid=500(roussel) gid=501(roussel) groupes=501(roussel),502(test)
```

Votre groupe principal est précisé dans le fichier `/etc/passwd`

```
roussel:x:500:501:Gilles Roussel:/home/roussel:/bin/bash
```

Les autres groupes sont précisés dans le fichier `/etc/group`

```
roussel:x:501:
test:x:502:roussel
```

La commande `newgrp` permet de changer votre groupe courant

```
# newgrp test
# id
uid=500(roussel) gid=502(test) groupes=501(roussel),502(test)
```

Parenthèse : « Où sont passés les mots de passe ? »

- Les "mots de passe" étaient à l'origine dans `/etc/passwd` et `/etc/group` à la place du `x`

  ```
  roussel:x:500:501:Gilles Roussel:/home/roussel:/bin/bash
  ```

- Ils sont maintenant dans `/etc/shadow` et `/etc/gshdow`
  - Ils ne sont pas stockés en texte clair
  - Stockage d'une valeur de *hashage*

Exécution

- Système associe un processus au programme
  - Un programme peut être associé à plusieurs processus
- Un processus est associé à :
  - une identité
  - un espace mémoire (virtuel) propre au processus
  - des droits dépendants de l'utilisateur et du propriétaire du fichier
  - diverses autres choses

Comment produire un fichier binaire exécutable ?

- Écriture en binaire !!!
- Écrire en assembleur et générer le binaire :
  - non portable
  - difficile à écrire
  - difficile à maintenir
- Utilisation d'un langage de haut niveau et d'un compilateur vers l'architecture cible

Un programme C

rien.c

```
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char* argv[]) {
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

Un programme assembleur

rien.s

```
        .file   "rien.i"
        .text
.globl main
        .type   main, @function
main:
.LFB0:
        .cfi_startproc
        pushq   %rbp
        .cfi_def_cfa_offset 16
        movq    %rsp, %rbp
        .cfi_offset 6, -16
        .cfi_def_cfa_register 6
        movl    %edi, -4(%rbp)
        movq    %rsi, -16(%rbp)
        movl    $0, %eax
        leave
        ret
        .cfi_endproc
.LFE0:
        .size   main, .-main
```

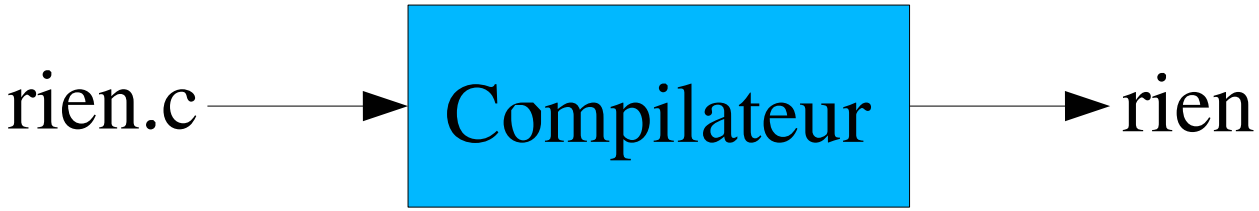
Un programme binaire

rien

```
177   E   L   F 001 001 001  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0  \0
002  \0 003  \0 001  \0  \0  \0 214 202 004  \b   4  \0  \0  \0
  8  \a  \0  \0  \0  \0  \0  \0   4  \0      \0  \a  \0   (  \0
....
```

Compilation : la version courte


```
# make rien
cc   rien.c   -o rien
# ls -l rien*
-rwxrwxr-x  1 roussel roussel 4620 fév  5 15:25 rien
-rw-rw-r--  1 roussel roussel   49 fév  5 10:08 rien.c
```



`make` ne recompile pas `rien`, s'il est plus récent que `rien.c`

```
# make rien
make: ‘‘rien’’ est à jour.
```

Compilation : la version longue


```
# cpp rien.c rien.i # Préprocesseur
# cc1 -s rien.i # Compilateur
# as rien.s -o rien.o # Assembleur
# ld -o rien rien.o /usr/lib/crt1.o \
  /usr/lib/crti.o /usr/lib/crtn.o -lc  \
  -dynamic-linker /lib/ld-linux.so.2 # Édition de liens

# ls -l rien*
-rwxrwxr-x  1 roussel roussel 3587 fév  5 15:25 rien
-rw-rw-r--  1 roussel roussel   49 fév  5 10:08 rien.c
-rw-rw-r--  1 roussel roussel  117 fév  5 16:26 rien.i
-rw-rw-r--  1 roussel roussel  709 fév  5 16:34 rien.o
-rw-rw-r--  1 roussel roussel  363 fév  5 16:26 rien.s
```

Pourquoi la ligne d'édition de liens est si longue ?


```
# ld -o rien rien.o /usr/lib/crt1.o \
    /usr/lib/crti.o /usr/lib/crtn.o -lc \
    -dynamic-linker /lib/ld-linux.so.2
```

- elle précise le nom de l'exécutable à créer et le nom du fichier objet contenant mon programme ;
- elle précise les noms d'autres fichiers objets contenant des fonctions nécessaires à la construction du programme exécutable ;
- elle précise le nom d'une bibliothèque (*library*) contenant des fonctions de base (`printf()`, etc.) ;
- elle dit que ces fonctions doivent être liées dynamiquement à l'exécution.

Mais encore ?

- Le fichier objet `rien.o` contient uniquement le code de la fonction `main()` que j'ai écrite.
  La commande `nm` permet de connaître les noms accessibles dans le fichier objet (adresse, type, nom) :

```
# nm rien.o
00000000 T main
```

- Il n'est pas dans un format exécutable.
  La commande `file` permet de connaître le format des données contenues dans le fichier

```
# file rien.o
rien.o: ELF 32-bit LSB relocatable, Intel 80386, version 1
(SYSV), not stripped

# file rien
rien: ELF 32-bit LSB executable, Intel 80386, version 1 (SYS
for GNU/Linux 2.2.5, dynamically linked (uses shared libs),
not stripped
```

Mais encore ?

- Il y a besoin d'autres « morceaux » pour pouvoir utiliser `rien.o`.
  En particulier le fichier `/usr/lib/crt1.o` :
  - prépare l'exécution (organisation mémoire) ;
  - contient le nom `_start` (recherché pour commencer le programme) ;
  - appelle `main()`.
- L'édition de liens se charge de recoller les morceaux.

Mais encore ?

- Les bibliothèques sont précisées au moyen de l'option `-l`
- Option valide pour `ld` et `gcc`
- `-lc` correspond à la recherche d'un fichier de nom :
  - `libc.a` : bibliothèque statique
  - `libc.so` : bibliothèque dynamique
- Liste des répertoires de recherche (par défaut) configuré dans `ld`

```
# ld --verbose
....
SEARCH_DIR("/usr/i386-redhat-linux/lib");
SEARCH_DIR("/usr/local/lib"); SEARCH_DIR("/lib");
SEARCH_DIR("/usr/lib");
...
```

Mais encore ?

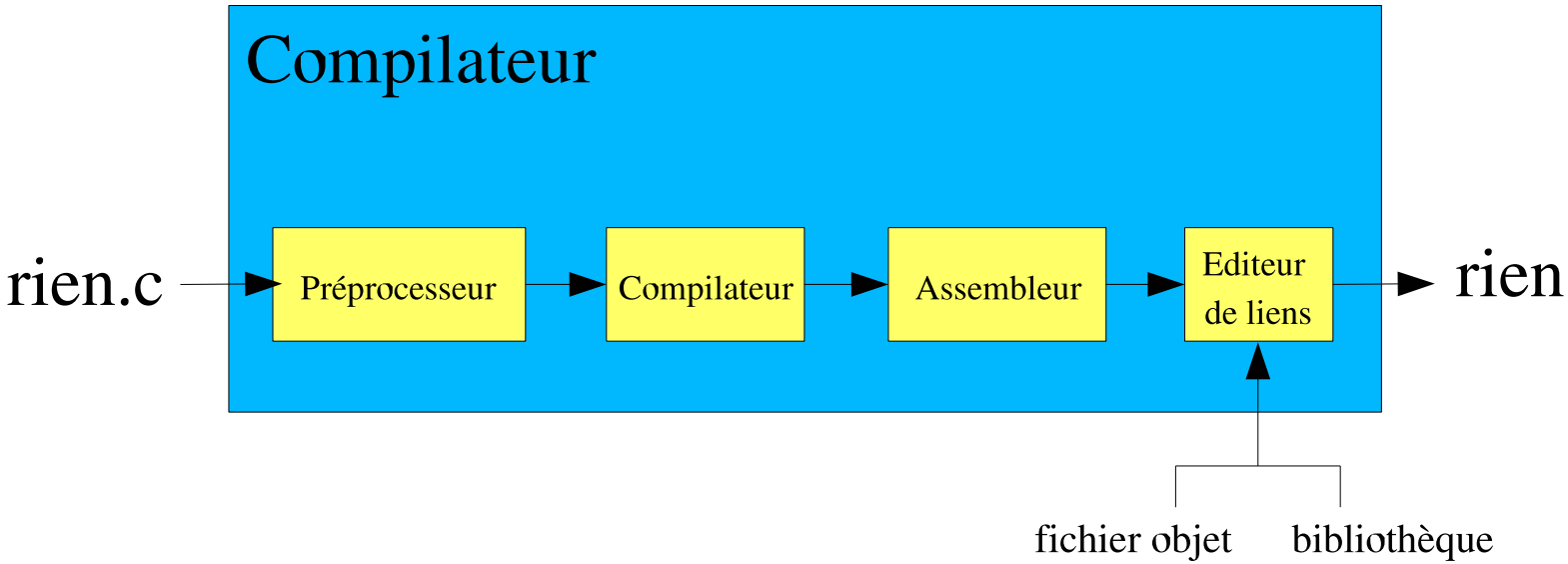
- Les fonctions de bibliothèque qui ne font pas partie du programme initial peuvent être liées :
  - dynamiquement (à l'exécution) : grâce à la bibliothèque `ld-linux`
  - statiquement (à la compilation) : dans le fichier exécutable

```
# gcc -static -o rien rien.o
```

Liaison statique ou dynamique

- Liaison statique
  - Exécutable de grande taille
  - Liaison à une version particulière des bibliothèques
- Liaison dynamique
  - Exécutable de plus petite taille
  - Sur-coût à l'exécution
  - Besoin des bibliothèques
  - Suivi des versions
- `ldd` permet de connaître les bibliothèques dynamiques nécessaires à un programme.

Compilation : la version longue



Un autre programme ?

deux.c

```
int main(int argc , char* argv []) {
  printf ("Racine␣de␣4=%d\n",sqrt(4));
  return 0;
}
```

```
# make deux
cc      deux.c   -o deux
# ./deux
Racine de 4 = 0
```

Pourquoi ?

- Les types de `printf()` et `sqrt()` sont déduits de leur utilisation
- Il faut ajouter la déclaration de `printf()` et `sqrt()`
  - à la main

    ```
    extern int printf (char * format, ...);
    extern double sqrt (double v);
    ```

  - en utilisant le fichier `.h` d'en-tête (*header*) associés à `printf()` et `sqrt()`

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

- Il faut ajouter des options de compilation pour vérifier que toutes les fonctions externes sont bien déclarées et bien utilisées

  `-ansi -Wall`

Ajouter les options de compilation

- Créer un fichier de compilation `makefile` minimal pour donner des indications à `make`

makefile

```
CFLAGS=-ansi -Wall
```

```
# make deux
cc -ansi -Wall    deux.c   -o deux
deux.c: In function ‘main’:
deux.c:2: attention : déclaration implicite de la fonction
    ‘‘printf’’
deux.c:2: attention : déclaration implicite de la fonction
    ‘‘sqrt’’
deux.c:2: attention : format int, arg double (arg 2)
```

Éliminer tous les “attention” !

deux_prime.c

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

int main(int argc, char* argv[]) {
  printf("Racine␣de␣4␣=␣%f\n",sqrt(4));
  return 0;
}
```

```
# make deux_prime
cc -ansi -Wall    deux_prime.c   -o deux_prime
# ./deux_prime
Racine de 4 = 2.000000
```

Comment sont ajoutées les déclarations du fichier d'en-tête ?

Par le préprocesseur cpp

```
# cpp deux.c.
...
# 1 "/usr/include/stdio.h" 1 3 4
...
extern int printf (__const char *__restrict __format, ...);
...
# 2 "deux.c" 2

int main(int argc, char* argv[])
  printf("Racine de 4 = %d\n",sqrt(4));
  return 0;
```

Comment sont trouvés les fichiers d'en-tête ?

- Dans un ensemble de répertoires prédéfinis

```
# cpp --verbose
/usr/local/include
/usr/lib/gcc/i386-redhat-linux/3.4.2/include
/usr/include
```

- Dans des répertoires précisés avec l'option -I

```
# cpp -I/home/roussel/include ...
```

- Si le nom du fichier à inclure est entre guillemets (") le fichier est également recherché dans le répertoire courant

```
#include <stdio.h>
#include "monfichier.h"
```

Que contient un fichier d'en-tête ?

- Jamais de code exécutable !
- Des demandes d'inclusion d'autres fichiers `.h`
  `#include <features.h>`
- Des déclarations de fonctions externes
  `extern int fclose (FILE *__stream);`
- Des déclarations de variables globales externes
  `extern struct _IO_FILE *stdin;`
- Des définitions de constantes ou macros
  `#define EOF (-1)`
  `#define getc(_fp) _IO_getc (_fp)`
- Des définitions de types
  `typedef struct _IO_FILE FILE;`

Les instructions du préprocesseur

- # en début de ligne, évaluées au fur et à mesure (ordre)
- inclusion de fichier : `#include`
- définition de constante ou de macro : `#define`
- suppression d'une définition : `#undef`

```
#undef EOF
```

- conditionnelles : `#ifdef`, `#ifndef`, `#else`, `#elif` et `#endif`

```
#ifdef OPTION1
...
#elif OPTION2
...
#else
...
#endif
```

Les conditionnelles

- Utilisées, en particulier, pour éviter les inclusions multiples de fichiers d'en-tête

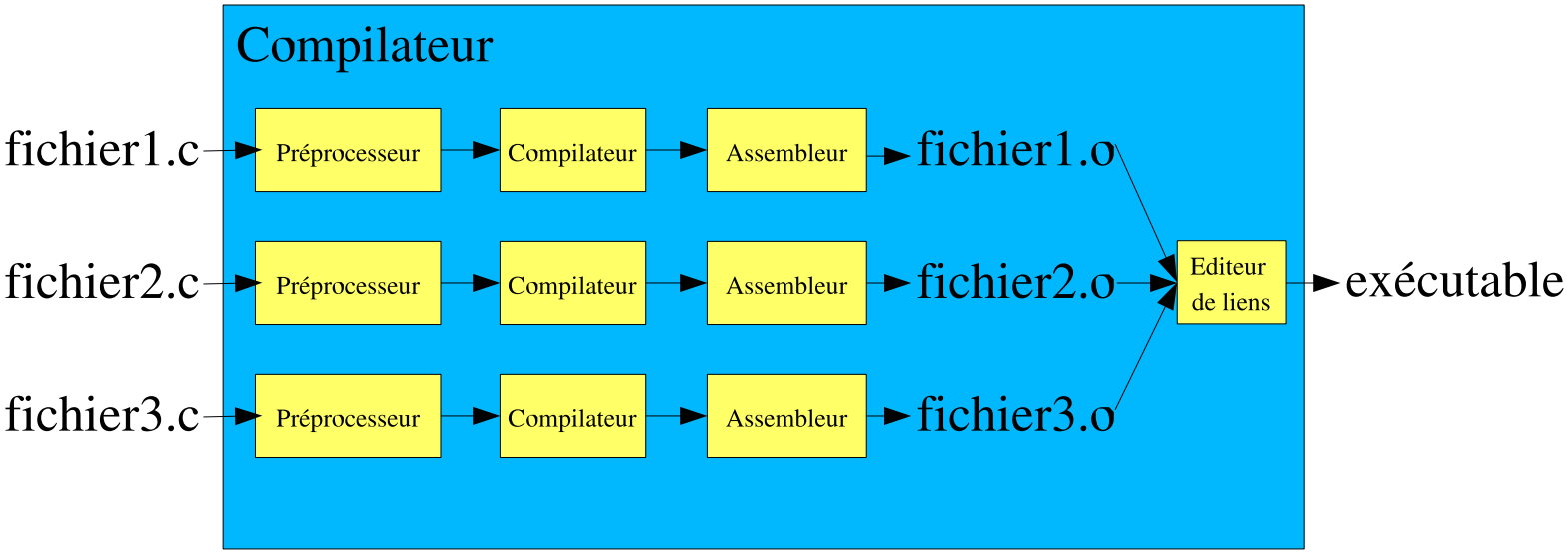
exemple.h

```
#ifndef _EXEMPLE_H
# define  _EXEMPLE_H
....
/* Contenu de exemple.h */
....
#endif /* _EXEMPLE_H */
```

Compilation séparée

- Exécutable construit à partir de plusieurs « morceaux » compilés séparément
- Fichiers plus petits, plus lisibles
- Évite de tout recompiler à chaque fois (si c'est bien fait !)
- Permet de partager des « morceaux »
- Création de bibliothèques de fonctions

Compilation séparée



- Les fichiers se « connaissent » *via* les fichiers d'en-tête
- Au moins un `.h` par `.c` qui est utilisé par un autre `.c`

Qui doit inclure un fichier `.h` ?

- Tout fichier qui utilise les fonctions et variables déclarées dans le fichier d'en-tête.
  Permet, en particulier, de vérifier que les types des arguments utilisés pour appeler un fonction correspondent à ceux des paramètres déclarés.
- Le fichier qui définit les fonctions et variables déclarées dans le fichier d'en-tête.
  Permet, en particulier, de vérifier que les types des déclarations sont bien cohérents avec ceux des définitions.
- Tout fichier utilisant les types déclarés dans les fichiers d'en-tête.

Un exemple simple

f.c

```
#include "f.h"

int f(int i) {
        return 2*i*i;
}
```

f.h

```
#ifndef _F_H
#define _F_H 1

extern int f(int i);
#endif
```

Un exemple simple

main.c

```
#include <stdio.h>
#include "f.h"

int main(int argc , char* argv []){
        printf ("%d\n",f(2));
        printf ("%d\n",f(4));
        return 0;
}
```

Compilation


```
# make main
cc -ansi -Wall    main.c   -o main
/tmp/ccy1DjDf.o(.text+0x25): In function ‘main’:
: undefined reference to ‘f’
collect2: ld a retourné 1 code d’état d’exécution
make: *** [main] Erreur 1
```

`make` ne sait pas quels fichiers sont nécessaires pour construire `main` !

Un nouveau makefile

makefile

```
CFLAGS=-ansi -Wall

main: main.c f.c f.h
	gcc $(CFLAGS) -o main main.c f.c
```

La cible `main` dépend de `main.c`, `f.c` et `f.h`
Pour créer `main` il faut compiler `main.c` et `f.c` ensembles.

```
# make
cc -ansi -Wall -o main main.c f.c
```

`main` cible par défaut (`make` $\Leftrightarrow$ `make main`)
Si `main.c` ou `f.c` ou `f.h` est plus récent que `main` alors `main` est recompilé

Il n'y a pas de compilation séparée !

Pour faire de la compilation séparée il faut :

- créer des fichiers objets (`.o`) qui seront recompilés lorsque les fichiers sources (`.c` et `.h`) changent
- « lier » les fichiers objets entre eux pour créer l'exécutable chaque fois que l'un d'eux change

Un meilleur `makefile`

makefile

```
CFLAGS=-ansi -Wall

main: main.o f.o
        gcc -o main main.o f.o
```

```
# make
cc -ansi -Wall -c -o main.o main.c
cc -ansi -Wall -c -o f.o f.c
gcc -o main main.o f.o
```

On utilise `gcc` plutôt que `ld` pour éviter les multiples arguments

Ce n'est pas encore parfait !

- Si `f.h` est modifié, `make` dit qu'il n'y a rien à faire !
- Il faut ajouter des dépendances pour la création des fichiers objets

makefile

```
CFLAGS=-ansi -Wall

main: main.o f.o
        gcc -o main main.o f.o

main.o: main.c f.h

f.o: f.c f.h
```

Générer automatiquement les dépendances

makefile

```
CFLAGS=-ansi -Wall
SRCS=f.c main.c

main: main.o f.o
        gcc -o main main.o f.o

depend:
        makedepend -- $(CFLAGS) -- $(SRCS)
```

Utilisation d'une cible inconditionnelle (la commande associée est toujours exécutée) depend et de la commande `makedepend` qui ajoute les dépendances au `makefile`

Générer automatiquement les dépendances


```
# make depend
makedepend -- -ansi -Wall -- f.c main.c
```

makefile

```
CFLAGS=-ansi -Wall
SRCS=f.c main.c

main: main.o f.o
        gcc -o main main.o f.o

depend:
        makedepend -- $(CFLAGS) -- $(SRCS)
```