Principe des Systèmes d'Exploitation TP1

Chaîne de compilation C/UNIX et premiers appels système

Table des matières

Ex. 1: Compilation d'un programme C mono-fichier:	3
Ex. 2 : Compilation de programme C multi-fichier	
Ex. 3 Lancement d'un exécutable à partir d'un programme C et traitement des erreurs	
Ex. 4 Exemple de création de processus fils dont le code est le même que celui de leur père	. 12

Ex. 1: Compilation d'un programme C mono-fichier :

a)

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc p1.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop p1.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./a.out
Hello world
```

b)

Le -v nous permet d'afficher toutes les étapes de la compilation du fichier (cf man gcc), il va successivement et automatiquement faire :

- Traitement par le préprocesseur, modification du fichier source (lecture des #) (1)
- Traduction en assembleur, création d'un fichier .s (2)
- Traduction en binaire (langage machine), création d'un fichier .o (3)
- Edition des liens par le linker. (4)

```
0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -v pl.c
Using built-in specs.
COLLECT_GCC=gcc
COLLECT_LTO_WRAPPER=/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/lto-wrapper
Target: x86_64-linux-gnu
Configured with: ../src/configure -v --with-pkgversion='Ubuntu 4.8.4-2ubuntu1~14.04.3' --with-bugurl=fil
:///usr/share/doc/gcc-4.8/README.Bugs --enable-languages=c,c++,java,go,d,fortran,objc,obj-c++ --prefix=/
sr --program-suffix=-4.8 --enable-shared --enable-linker-build-id --libexecdir=/usr/lib --without-includ
d-gettext --enable-threads=posix --with-gxx-include-dir=/usr/include/c++/4.8 --libdir=/usr/lib --enable-
ls --with-sysroot=/ --enable-clocale=gnu --enable-libstdcxx-debug --enable-libstdcxx-time=yes --enable-
u-unique-object --disable-libmudflap --enable-plugin --with-system-zlib --disable-browser-plugin --enab
 -java-awt=gtk --enable-gtk-cairo --with-java-home=/usr/lib/jvm/java-1.5.0-gcj-4.8-amd64/jre --enable-jav
 -home --with-jvm-root-dir=/usr/lib/jvm/java-1.5.0-gcj-4.8-amd64 --with-jvm jar-dir=/usr/lib/jvm-exports/
ava-1.5.0-gcj-4.8-amd64 --with-arch-directory=amd64 --with-ecj-jar=/usr/share/java/eclipse-ecj.jar --ena
le-objc-gc --enable-multiarch --disable-werror --with-arch-32=i686 --with-abi=m64 --with-multilib-list=m
2,m64,mx32 --with-tune=generic --enable-checking=release --build=x86_64-linux-gnu --host=x86_64-linux-gn
  --target=x86 64-linux-gnu
Thread model: posix
gcc version 4.8.4 (Ubuntu 4.8.4-2ubuntu1~14.04.3)
 COLLECT GCC OPTIONS='-v' '-mtune=generic' '-march=x86-64'
 /usr/lib/gcc/x86 64-linux-gnu/4.8/ccl -quiet -v -imultiarch x86 64-linux-gnu pl.c -quiet -dumpbase pl.c
 mtune=generic -march=x86-64 -auxbase p1 -version -fstack-protector -Wformat -Wformat-security -o /tmp/d-
UZmRn4.s
GNU C (Ubuntu 4.8.4-2ubuntu1~14.04.3) version 4.8.4 (x86 64-linux-gnu)
              compiled by GNU C version 4.8.4, GMP version 5.1.3, MPFR version 3.1.2-p3, MPC version 1.0.1
GGC heuristics: --param ggc-min-expand=100 --param ggc-min-heapsize=131072
ignoring nonexistent directory "/usr/local/include/x86_64-linux-gnu"
ignoring nonexistent directory "/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../../x86_64-linux-gnu/include"
#include "..." search starts here:
#include <...> search starts here:
 /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/include
  /usr/local/include
  /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/include-fixed
 /usr/include/x86_64-linux-gnu
/usr/include
End of search list.
GNU C (Ubuntu 4.8.4-2ubuntu1~14.04.3) version 4.8.4 (x86 64-linux-gnu)
              compiled by GNU C version 4.8.4, GMP version 5.1.3, MPFR version 3.1.2-p3, MPC version 1.0.1
GGC heuristics: --param ggc-min-expand=100 --param ggc-min-heapsize=131072
 Compiler executable checksum: a0a649d344b1ed798e33d30772d46437
COLLECT GCC OPTIONS='-v' '-mtune=generic' '-march=x86-64'
 as -v --64 -o /tmp/ccxiK35D.o /tmp/ccUZmRn4.s
Version de l'assembleur GNU 2.24 (x86 64-linux-gnu) utilisant la version BFD (GNU Binutils for Ubuntu) 2
COMPILER_PATH=/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/:/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/:/usr/lib/gcc/x86_64-
inux-gnu/:/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/:/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/
LIBRARY PATH=/usr/lib/gcc/x86 64-linux-gnu/4.8/:/usr/lib/gcc/x86 64-linux-gnu/4.8/../../x86 64-linux
nu/:/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../../lib/:/lib/x86_64-linux-gnu/:/lib/../lib/:/usr/lib/x86_4-linux-gnu/:/lib/../lib/:/usr/lib/x86_4-linux-gnu/:/lib/../lib/:/usr/lib/x86_4-linux-gnu/:/lib/:/usr/lib/:/usr/lib/cot/x86_64-linux-gnu/4.8/../../:/lib/:/usr/lib/
COLLECT_GCC_OPTIONS='-v' '-mtune=generic' '-march=x86-64'
/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/collect2 --sysroot=/ --build-id --eh-frame-hdr -m elf_x86_64 --hash-syle=gnu --as-needed -dynamic-linker /lib64/ld-linux-x86-64.so.2 -z relro /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/48/../../x86_64-linux-gnu/crti.o /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/crti.o /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/crti.o /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/crti.o /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86_64-linux-gnu/4.8/../x86
 r/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/crtbegin.o -L/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8 -L/usr/lib/gcc/x86_64-linu
 gnu/4.8/../../x86_64-linux-gnu -L/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../../lib -L/lib/x86_64-lin-
  gnu -L/lib/../lib -L/usr/lib/x86_64-linux-gnu -L/usr/lib/../lib -L/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/.
  ./.. /tmp/ccxiK35D.o -lgcc --as-needed -lgcc_s --no-as-needed -lc -lgcc --as-needed -lgcc_s --no-as-nee
 ed /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/crtend.o /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/../../x86_64-linux-gn
 /crtn.o
```

2/3

1

4

```
c)
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop pl.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -S pl.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop pl.c pl.s
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ file pl.s
pl.s: assembler source text
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -c pl.s
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ file pl.o
pl.o: ELF 64-bit LSB relocatable, x86-64, version l (SYSV), not stripped
```

Les commandes successives génères deux fichiers p1.0 et p1.s (ainsi que a.out à la fin).

p1.s est de type assembler source text, voici son contenu :

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ cat pl.s
        .file
                "p1.c"
        .section
                        .rodata
.LC0:
        .string "Hello world "
        .text
        .globl main
                main, @function
        .type
main:
.LFB2:
        .cfi startproc
        pushq
               %rbp
        .cfi def cfa offset 16
        .cfi offset 6, -16
               %rsp, %rbp
        movq
        .cfi def cfa register 6
               $.LCO, %edi
        movl
        call
                puts
                $0, %edi
        movl
        call
                exit
        .cfi endproc
.LFE2:
        .size
                main, .-main
        .ident "GCC: (Ubuntu 4.8.4-2ubuntu1~14.04.3) 4.8.4"
        .section
                  .note.GNU-stack,"",@progbits
```

p1.o est de type binaire 64 bit, voici son contenu :

Avec la commande **od -h**:

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ od -h pl.o
0000000 457f 464c 0102 0001 0000 0000 0000 0000
0000060 0000 0000 0040 0000 0000 0040 000d 000a
0000100 4855 e589 00bf 0000 e800 0000 0000 00bf
0000120 0000 e800 0000 0000 6548 6c6c 206f 6f77
0000140 6c72 2064 0000 4347 3a43 2820 6255 6e75
0000160 7574 3420 382e 342e 322d 6275 6e75 7574
0000200 7e31 3431 302e 2e34 2933 3420 382e 342e
0000240 7a01 0052 7801 0110 0c1b 0807 0190 0000
0000260 001c 0000 001c 0000 0000 0000 0018 0000
0000300 4100 100e 0286 0d43 0006 0000 0000 0000
0000320 2e00 7973 746d 6261 2e00 7473 7472 6261
0000340 2e00 6873 7473 7472 6261 2e00 6572 616c
0000360 742e 7865 0074 642e 7461 0061 622e 7373
0000400 2e00 6f72 6164 6174 2e00 6f63 6d6d 6e65
0000420 0074 6e2e 746f 2e65 4e47 2d55 7473 6361
0000440 006b 722e 6c65 2e61 6865 665f 6172 656d
0000600 0006 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000660 0000 0000 0000 0000 001b 0000 0004 0000
0000700 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000720 05b0 0000 0000 0000 0048 0000 0000 0000
0000760 0018 0000 0000 0000 0026 0000 0001 0000
0001020 0058 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0001040 0000 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
0001060 0000 0000 0000 0000 002c 0000 0008 0000
0001120 0058 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0001140 0000 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
```

Avec la commande **objdump -D**:

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ objdump -D p1.o
          format de fichier elf64-x86-64
01.0:
Déassemblage de la section .text :
00000000000000000 <main>:
                                         %rbp
   0:
        55
                                  push
        48 89 e5
                                         %rsp,%rbp
   1:
                                  mov
   4:
        bf 00 00 00 00
                                  mov
                                         $0x0,%edi
   9:
        e8 00 00 00 00
                                  callq
                                         e <main+0xe>
        bf 00 00 00 00
                                  mov
                                         $0x0,%edi
   e:
                                         18 <main+0x18>
  13:
        e8 00 00 00 00
                                  callq
Déassemblage de la section .rodata :
0000000000000000 <.rodata>:
   0:
        48
                                  rex.W
   1:
        65
                                  qs
   2:
        6c
                                  insb
                                         (%dx),%es:(%rdi)
   3:
                                  insb
                                         (%dx),%es:(%rdi)
        6c
   4:
                                         %ds:(%rsi),(%dx)
        6f
                                  outsl
   5:
        20 77 6f
                                  and
                                         %dh,0x6f(%rdi)
        72 6c
                                         76 <main+0x76>
   8:
                                  jb
        64 20 00
                                         %al,%fs:(%rax)
   a:
                                  and
Déassemblage de la section .comment :
90000000000000000 <.comment>:
   0:
        00 47 43
                                  add
                                         %al,0x43(%rdi)
        43 3a 20
   3:
                                  rex.XB cmp (%r8),%spl
                                         %dl,0x62(%rbp)
   6:
        28 55 62
                                  sub
                                         79 <main+0x79>
   9:
        75 6e
                                  jne
   b:
        74 75
                                  je
                                         82 <main+0x82>
                                         %dh,(%rsi,%rbp,1)
   d:
        20 34 2e
                                  and
        38 2e
                                         %ch,(%rsi)
  10:
                                  cmp
  12:
        34 2d
                                         $0x2d,%al
                                  xor
  14:
        32 75 62
                                         0x62(%rbp),%dh
                                  xor
  17:
        75 6e
                                         87 <main+0x87>
                                  ine
  19:
        74 75
                                         90 <main+0x90>
                                  jе
  1b:
        31 7e 31
                                         %edi,0x31(%rsi)
                                  xor
        34 2e
                                         $0x2e,%al
  1e:
                                  xor
        30 34 2e
                                         %dh,(%rsi,%rbp,1)
  20:
                                  xor
  23:
        33 29
                                         (%rcx),%ebp
                                  xor
        20 34 2e
                                         %dh,(%rsi,%rbp,1)
  25:
                                  and
```

Ex. 2: Compilation de programme C multi-fichier

a)

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop hello.c hello.h pl.c pl.o pl.s prog.c
b)
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -c prog.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -c hello.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop hello.c hello.h hello.o p1.c p1.o p1.s prog.c prog.o
c)
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc prog.o hello.o -o prog.x
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop hello.c hello.h hello.o p1.c p1.o p1.s prog.c prog.o prog.x
d)
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc prog.c hello.c -o prog.x
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out Disque D:\ (Windows).desktop hello.c hello.h hello.o p1.c p1.o p1.s prog.c prog.o prog.x
Exécution:
              [0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./prog.x
              Bonjour!
```

Ex. 3 Lancement d'un exécutable à partir d'un programme C et traitement des erreurs

a)

On réalise deux **ps au**, un avant l'exécution et un après l'exécution de ex3.x

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ps au
USER
            PID %CPU %MEM
                               VSZ
                                     RSS
                                         TTY
                                                   STAT START
                                                                 TIME COMMAND
                                                        09:34
root
            1257
                 0.0
                       0.0
                            23008
                                    2096 tty4
                                                   Ss+
                                                                 0:00 /sbin/getty -8
root
           1264
                 0.0
                       0.0
                            23008
                                    2120 tty5
                                                   Ss+
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty -8
root
           1272
                  0.0
                       0.0
                            23008
                                    2044 tty2
                                                   Ss+
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty -8
                                                        09:34
           1273
                 0.0
                       0.0
                            23008
                                    2116 tty3
                                                   Ss+
                                                                 0:00 /sbin/getty
                                                                                   -8
root
root
            1277
                  0.0
                       0.0
                            23008
                                    2052
                                         tty6
                                                   Ss+
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty
                                                                                   -8
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty
root
            1862
                  0.0
                       0.0
                            23008
                                    2072
                                         tty1
                                                   Ss+
root
           1920
                  1.3
                       1.4 257240 59280
                                         tty7
                                                   Ssl+ 09:34
                                                                 0:54 /usr/bin/X -co
utilisa+
           3235
                  0.0
                       0.0
                            28272
                                    3824 pts/0
                                                   Ss+
                                                        09:44
                                                                 0:00 bash
utilisa+
                  0.2
                                         pts/4
           3969
                       0.0
                                    3824
                                                        10:44
                                                                 0:00 bash
                            28264
                                                   Ss
                                         pts/4
utilisa+
           3981
                  0.0
                       0.0
                            25704
                                    2592
                                                   R+
                                                        10:44
                                                                 0:00 ps au
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ps au
            PID %CPU %MEM
                                                   STAT START
                                                                 TIME COMMAND
                               VSZ
                                     RSS
                 0.0
                       0.0
                                    2096 tty4
                                                                 0:00 /sbin/getty -8 38400 tty4
root
           1257
                            23008
                                                   Ss+
                                                        09:34
root
           1264
                 0.0
                       0.0
                            23008
                                    2120
                                         tty5
                                                   Ss+
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty -8 38400 tty5
                                                        09:34
root
            1272
                  0.0
                       0.0
                            23008
                                    2044
                                         tty2
                                                   Ss+
                                                                 0:00 /sbin/getty -8 38400 tty2
           1273
                            23008
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty -8 38400 tty3
                 0.0
                       0.0
                                    2116
                                         tty3
                                                   Ss+
root
root
            1277
                  0.0
                       0.0
                            23008
                                    2052
                                         tty6
                                                   Ss+
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty -8 38400 tty6
                       0.0
                                                        09:34
                                                                 0:00 /sbin/getty -8 38400 tty1
root
           1862
                  0.0
                            23008
                                    2072
                                         tty1
                                                   Ss+
                                                                      /usr/bin/X -core :0 -seat seat
root
            1920
                  1.3
                       1.4
                           257240
                                   59208
                                         tty7
                                                   Ssl+
                                                        09:34
                                                                 0:55
utilisa+
                                                        09:44
           3235
                  0.0
                       0.0
                            28272
                                    3824
                                         pts/0
                                                   Ss
                                                                 0:00 bash
utilisa+
           3969
                  0.1
                       0.0
                            28264
                                    3824 pts/4
                                                   Ss
                                                         10:44
                                                                 0:00 bash
                                                         10:45
utilisa+
            3983
                  0.0
                       0.0
                             4196
                                     792
                                         pts/0
                                                   S+
                                                                 0:00 ./ex3.x <
           3986
                 0.0
                       0.0
                            25704
                                    2620 pts/4
                                                   R+
                                                         10:45
                                                                 0:00 ps au
utilisa+
```

On observe que ex3.x est bien dans la liste des processus une fois que son exécution a été effectuée.

ex3.x permet d'exécuter un émulateur de terminal de commande, via 'xterm'.

b)

On crée un fichier ex4.c avec le code ci-dessous, exécutable a.out affiche 'Hello World'.

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

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

    usleep(7000000); /* sleep 7 seconds */
    execl("./a.out", "a.out", NULL);
    /* si l'appel à exec fonctionne, le reste
    du programme ne s'exécute jamais */
    printf("ne s'affiche jamais");
    return 0;
}
```

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -o ex ex4.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ls
a.out ex ex3.c~ ex4.c ex4.x hello.h pl.c pl.s prog.o
Disque D:\ (Windows).desktop ex3.c ex3.x ex4.c~ hello.c hello.o pl.o prog.c prog.x
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./ex
Hello world
```

c) On passe ex.x en paramètre dans la fonction execl(), sachant que cet exécutable n'existe pas.

```
execl("./a.out", "a.out", NULL);

[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -o ex ex4.c

[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./ex

ne s'affiche jamais[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$
```

Le programme ne va pas trouver d'exécutable a ce chemin d'accès et va donc passer au printf() après le execl().

d)

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>

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

    //usleep(70000000); /* sleep 7 seconds */
    execl("./ex.x", "ex.x", NULL);
    if(errno==ENOENT){
        perror("Erreur");
        _exit(1);
    }
    /* si l'appel à exec fonctionne, le reste
    du programme ne s'exécute jamais */
        printf("ne s'affiche jamais");
    return 0;
}
```

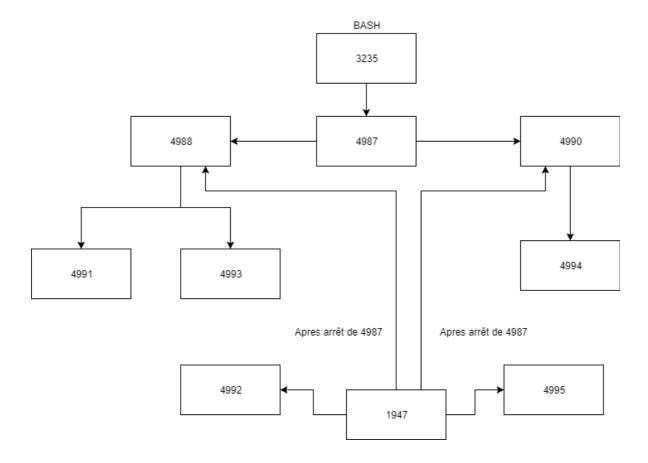
```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ gcc -o ex ex4.c
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./ex
Erreur: No such file or directory
```

Ex. 4 Exemple de création de processus fils dont le code est le même que celui de leur père.

a) 8 processus sont crées a l'exécution de ce programme (2³ car il y a 3 parcours de boucle).

b)

```
0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./ex
 ils (4987) de (3235). i=0
fils (4988) de (4987). i=0
fils (4987) de (3235). i=1
fils (4988) de (4987). i=1
fils (4990) de (4987). i=1
               (4988). i=1
fils (4991) de
fils (4987) de (3235). i=2
fils (4994) de (4990). i=2
fils (4991) de (4988). i=2
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ fils (4992) de (1947). i=2
fils (4988) de (1947). i=2
fils (4990) de (1947). i=2
fils (4993) de (4988). i=2
fils (4995) de (1947). i=2
```



c) Les processus changent de père pendant l'exécution car le processus père peut s'arrête car l'exécution du programme est trop rapide, le processus fils va donc se faire adopter par un autre processus.

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./ex

fils (4987) de (3235). i=0

fils (4988) de (4987). i=0

fils (4988) de (4987). i=1

fils (4988) de (4987). i=1

fils (4990) de (4988). i=1

fils (4991) de (4988). i=2

fils (4994) de (4990). i=2

fils (4991) de (4988). i=2

[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ fils (4992) de (1947). i=2

fils (4988) de (1947). i=2

fils (4993) de (4988). i=2

fils (4995) de (1947). i=2
```

lci, le processus 4988 était au départ le fils du processus 4987 et est devenu le fils du processus 1947 lors de la dernière itération de la boucle.

d) lci, aucun processus ne change de père lors de l'exécution.

```
[0]utilisateur@Ubuntu:~/Bureau$ ./ex
fils (5049) de (3235). i=0
fils (5049) de (3235). i=1
fils (5049) de (3235). i=2
fils (5050) de (5049). i=0
fils (5050) de (5049). i=1
fils (5050) de (5049). i=2
fils (5054) de (5050). i=2
fils (5053) de (5050). i=1
fils (5053) de (5050). i=1
fils (5051) de (5049). i=1
fils (5055) de (5049). i=2
fils (5055) de (5053). i=2
fils (5055) de (5053). i=2
fils (5056) de (5051). i=2
```

Représentation de l'arbre a partir du processus père (3235) et ses fils crées par le programme.

```
-xfce4-terminal-bash-a.out
ex-ex-ex-ex
ex-ex-ex
ex-ex-ex
```