

# EPU - Informatique ROB4

## Informatique Système

Gestion mémoire + divers

**Miranda Coninx**

Presented by

**Ludovic Saint-Bauzel**

[ludovic.saint-bauzel@sorbonne-universite.fr](mailto:ludovic.saint-bauzel@sorbonne-universite.fr)

Sorbonne Université

Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (CNRS UMR 7222)

2023-2024



# Plan de ce cours

## Gestion mémoire

- La mémoire virtuelle

- Anatomie de l'espace d'adressage virtuel d'un processus

- Fonctionnement de la pile

- mmap

## Compléments sur le système de fichiers

- Utilisation de la fonction `fstat()` et `stat()`

- Exploration d'un répertoire

- Exercice : mini-ls

\*\*\*\* address-stack.c \*\*\*\*

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i;
    printf("Local variable i has address %10p\n",&i);
    return 0;
}
```

## Exécution

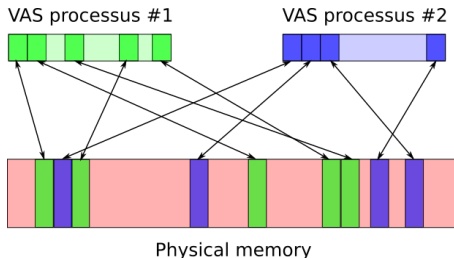
15:18 endy@demandred ~/mman% ./address-stack  
Local variable i has address 0x7ffd727daf2c

- ▶  $0x7ffd727daf2c = 140726524292908 \approx 128 \times 2^{40} - 10.2 \times 2^{30}$
- ▶ Presque 128 teraoctets de mémoire !
- ▶ Notre ordinateur n'a pas autant de RAM !

Possible grâce au mécanisme de la **mémoire virtuelle**

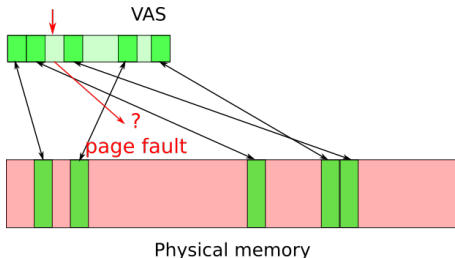
## Principe

- ▶ Chaque processus possède un **espace d'adressage virtuel (VAS)**.
  - ▶ Cet espace est **propre à chaque processus**.
  - ▶ Taille : 128TB sur Linux 64 bits ( $2^{47}$  octets) (Pour les OS 32 bits : 4GB =  $2^{32}$  octets, le maximum adressable avec des adresses de 32 bits)
- ▶ Le VAS est subdivisé en **pages** (de 4kB sur la plupart des ordinateurs de bureau)
- ▶  $2^{35}$  pages par VAS (Linux 64 bits)
- ▶ Ces pages sont mise en correspondance avec des **cases** de la mémoire physique.
- ▶ ...mais seulement pour les pages effectivement utilisées par le processus (pour stocker le programme et les données)
- ▶ Le mapping entre mémoire physique et mémoire virtuelle est géré par la MMU (Memory Management Unit)



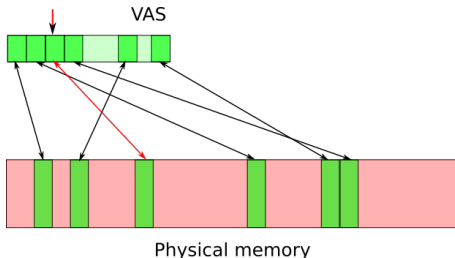
## Gestion mémoire

- ▶ Si le processus veut accéder à une adresse dans une page non chargée, cela génère un **défaut de page** (page fault)
- ▶ Interruption logicielle, demande à la MMU de résoudre le problème (charger les données, allouer la mémoire)
- ▶ Si pas assez de mémoire, on décharge une autre page (qui générera un défaut de page quand elle sera accédée)
- ▶ Quand charger et décharger quelle page pour minimiser les défauts de page et maximiser les performances ? Le problème de la gestion mémoire (se pose aussi pour le cache).
- ▶ Un exemple : algorithme LRU (Least Recently Used) : on supprime les pages les moins récemment accédées.



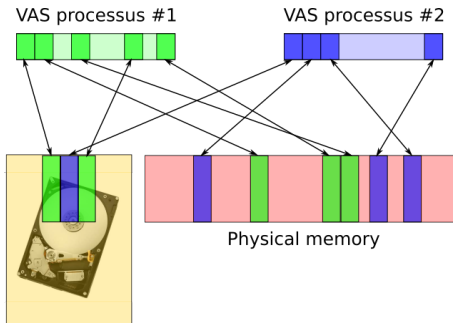
## Gestion mémoire

- ▶ Si le processus veut accéder à une adresse dans une page non chargée, cela génère un **défaut de page** (page fault)
- ▶ Interruption logicielle, demande à la MMU de résoudre le problème (charger les données, allouer la mémoire)
- ▶ Si pas assez de mémoire, on décharge une autre page (qui générera un défaut de page quand elle sera accédée)
- ▶ Quand charger et décharger quelle page pour minimiser les défauts de page et maximiser les performances ? Le problème de la gestion mémoire (se pose aussi pour le cache).
- ▶ Un exemple : algorithme LRU (Least Recently Used) : on supprime les pages les moins récemment accédées.



## Adressage virtuel : avantages – 1

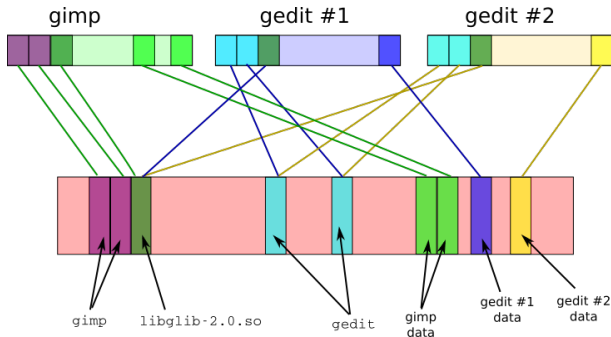
- ▶ Permet de **masquer la fragmentation mémoire**
  - ▶ Le processus accède à un espace mémoire continu, même si cela correspond à plusieurs plages de mémoire distinctes au sein de la mémoire physique
- ▶ Permet de mettre en place des **mécanismes de protection mémoire**
  - ▶ Chaque processus ne peut accéder qu'à la mémoire qui lui est dédiée
  - ▶ Chaque page a des permissions propres (comme un fichier) : lecture, écriture, exécution
  - ▶ Améliore la sécurité et la stabilité
- ▶ Permet de gérer des **ressources mémoire hétérogènes**
  - ▶ Si plus assez de RAM disponible, on peut temporairement stocker des pages mémoire sur le disque.
  - ▶ Dans une partition de swap (Linux) ou un fichier de swap (pagefile.sys sous Windows).
  - ▶ Géré par le noyau Linux et la MMU, de façon transparente pour le processus qui accède à la mémoire.



## Adressage virtuel : avantages – 2

- ▶ Permet de partager les pages de code
  - ▶ Dans le cas où plusieurs processus exécutent le même code
  - ▶ Egalement utilisé pour les bibliothèques partagées (.so/.dll).
- ▶ Permet de projeter des fichiers en mémoire
  - ▶ Appel système `mmap`

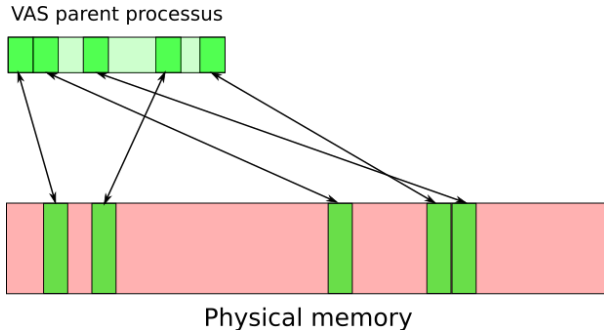
Exemple : une instance de gimp et deux instances de gedit sont lancées. gimp et gedit dépendent tous deux de la bibliothèque partagée `libglib-2.0.so`.





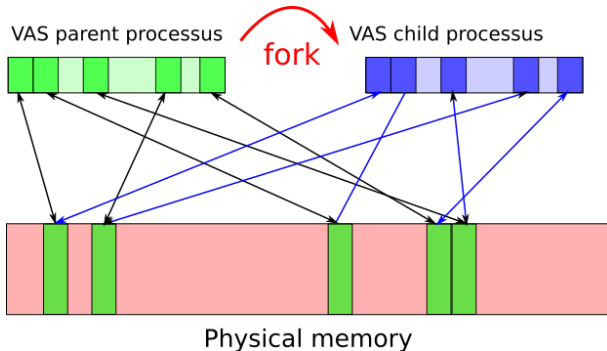
## Adressage virtuel : avantages – 3

- ▶ Mécanisme de la copie en écriture
  - ▶ Après un `fork`, le processus enfant a un VAS propre...
  - ▶ ...mais il se réfère initialement au même espace mémoire que le père
  - ▶ Les pages mémoire sont copiées quand le processus veut les modifier
  - ▶ Mécanisme de **copie en écriture** (*copy-on-write*). Economise la mémoire.



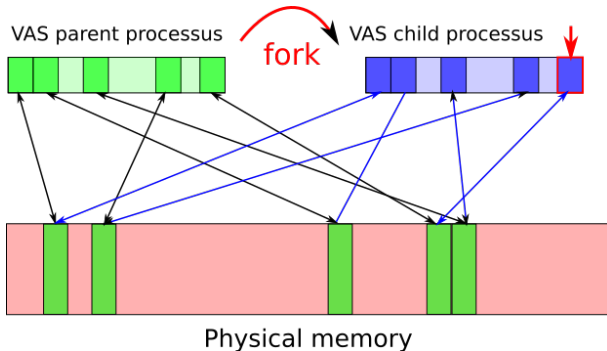
## Adressage virtuel : avantages – 3

- ▶ Mécanisme de la copie en écriture
  - ▶ Après un `fork`, le processus enfant a un VAS propre...
  - ▶ ...mais il se réfère initialement au même espace mémoire que le père
  - ▶ Les pages mémoire sont copiées quand le processus veut les modifier
  - ▶ Mécanisme de **copie en écriture** (*copy-on-write*). Economise la mémoire.



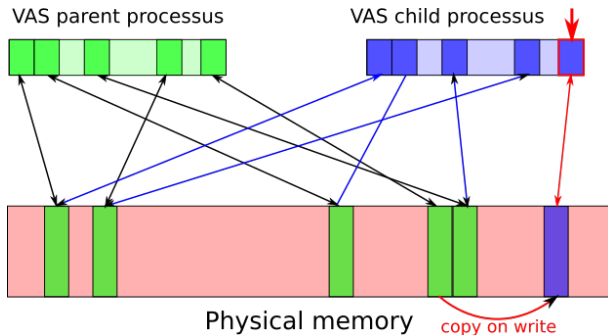
## Adressage virtuel : avantages – 3

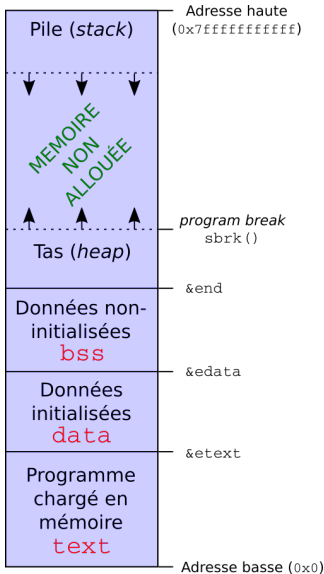
- ▶ Mécanisme de la copie en écriture
  - ▶ Après un `fork`, le processus enfant a un VAS propre...
  - ▶ ...mais il se réfère initialement au même espace mémoire que le père
  - ▶ Les pages mémoire sont copiées quand le processus veut les modifier
  - ▶ Mécanisme de **copie en écriture** (*copy-on-write*). Economise la mémoire.



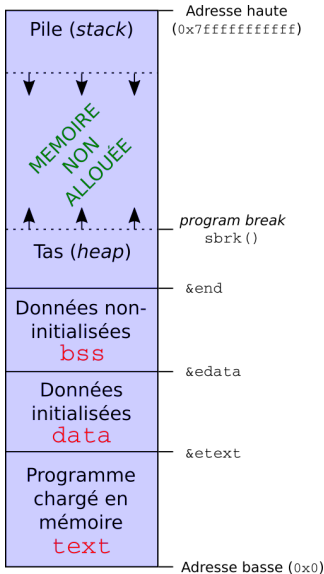
## Adressage virtuel : avantages – 3

- ▶ Mécanisme de la copie en écriture
  - ▶ Après un fork, le processus enfant a un VAS propre...
  - ▶ ...mais il se réfère initialement au même espace mémoire que le père
  - ▶ Les pages mémoire sont copiées quand le processus veut les modifier
  - ▶ Mécanisme de **copie en écriture** (*copy-on-write*). Economise la mémoire.





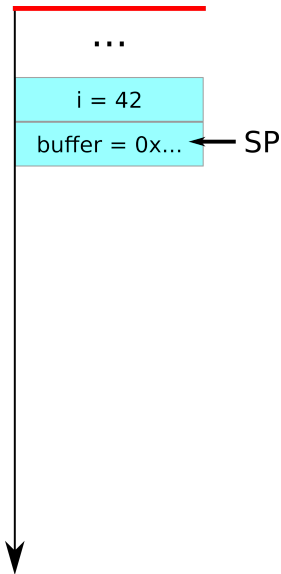
- ▶ L'espace d'adressage virtuel est divisé en plusieurs parties.
- ▶ La partie basse comprend des données chargées lors du chargement du processus, elles-mêmes subdivisées en **segments**.
  - ▶ Les limites de ces segments sont accessibles en inspectant l'adresse de variables globales `&etext`, `&edata`, `&end`.
- ▶ **text** correspond au **programme lui-même** (son code exécutable)
  - ▶ Les **pointeurs de fonctions** prennent des valeurs dans ce segment.
  - ▶ Généralement en **lecture seule** sur les systèmes modernes : par défaut, un programme ne peut pas directement modifier la propre copie de lui-même chargée en mémoire.
- ▶ **data** correspond aux **données initialisées au chargement du programme**
  - ▶ Les **variables globales** (déclarées et initialisées en dehors de toute fonction)
  - ▶ Les **variables static** initialisées explicitement (`static int i = 42;`).
- ▶ **bss** correspond aux **données non-initialisées au chargement du programme**
  - ▶ Les **variables static non initialisées explicitement** (`static int i;`)
  - ▶ Cet espace mémoire entier est rempli de zéros au chargement du programme.



- ▶ La partie haute (au dessus de `&end`) comprend l'espace mémoire manipulé dynamiquement pendant l'exécution du processus.
- ▶ La **pile** (stack) contient les données directement liées à la fonction en cours d'exécution et celles qui l'ont appelée.
  - ▶ Les variables locales, arguments, valeurs de retour de la fonction en cours et de toutes les fonctions qui l'ont appelée.
  - ▶ Espace contiguë et structuré
  - ▶ Part d'une adresse élevée et **croît vers le bas** (sur les PCs standard)
  - ▶ Accès implicite; la pile croît quand des fonctions sont appelées et décroît avec return
  - ▶ Taille limitée (`ulimit -s`)
- ▶ Le **tas** (heap) contient les espaces mémoires alloués explicitement (par exemple par `malloc` en C)
  - ▶ Entre `&end` et une limite ajustable, le *program break*
    - ▶ Ajustable par `brk()` et `sbrk()`, utilisés en interne par `malloc()` et `free()`
  - ▶ Pas de structure particulière; accès explicite à une adresse par un pointeur

## segments.c

```
1
2 #define _GNU_SOURCE
3 #include <stdio.h>
4 #include <stdlib.h>
5 #include <unistd.h>
6 #include <sys/mman.h>
7
8
9 extern char etext, edata, end;
10
11 char foo[] = "Hello_world\n";
12
13 int main(int argc, char* argv[])
14 {
15     void* x = malloc(100);
16     int i = 42;
17     static int mystatic;
18     char* anon = (char*)mmap(NULL, 4096, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_ANON
19 printf ("end_of_program_(etext)_=%10p\n",&etext);
20 printf ("end_of_initialized_data_(edata)_=%10p\n",&edata);
21 printf ("end_of_uninitialized_data_(end)_=%10p\n",&end);
22 printf ("current_program_break_(max_heap)_=%10p\n",sbrk(0));
23 printf ("====\n");
24 printf ("Address_of_main()_=%10p\n",&main);
25 printf ("Address_of_foo_(global_initialized)_=%10p\n",&foo);
26 printf ("Address_of_mystatic_(static_variable)_=%10p\n",&mystatic);
27 printf ("Address_of_i_(on_stack)_=%10p\n",&i);
28 printf ("Value_of_pointer_x_(malloced;_on_heap)_=%10p\n",x);
29 printf ("Value_of_pointer_anon_(mmapped)_=%10p\n",anon);
30 free(x);
31 munmap(anon,4096);
```



## Exemple

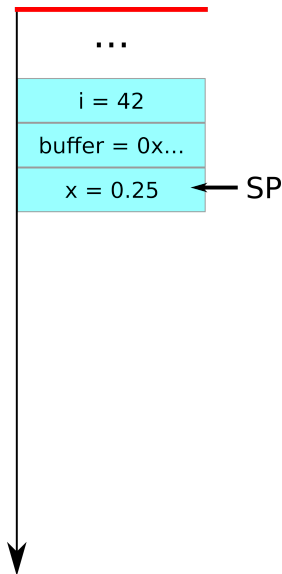
```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- ▶ La pile contient les variables locales de la fonction
- ▶ La **pointeur de pile** (SP, *stack pointer*) pointe vers le “sommet” de la pile.





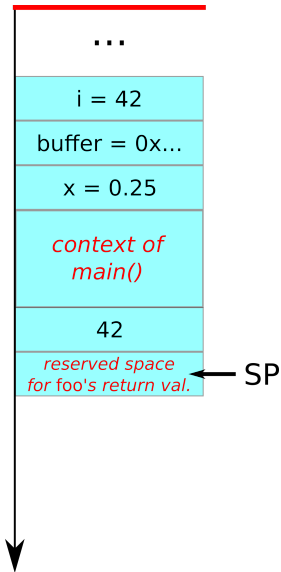
## Exemple

```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- ▶ Les variables locales sont ajoutées à la pile et le SP est mis à jour
- ▶ En interne, le programme compilé accède aux variables locales par leur position par rapport au SP.



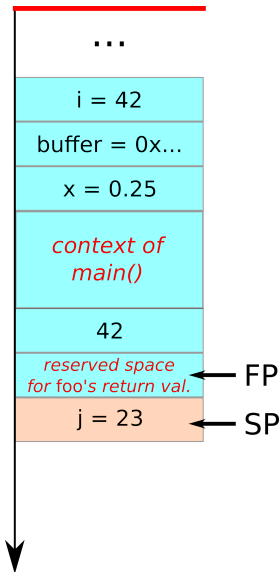
## Exemple

```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- ▶ Dans un appel de fonction, on empile :
  - ▶ Le **contexte de la fonction en cours** : ensemble des informations permettant de reprendre l'exécution à partir de ce point (état des registres, adresse de l'instruction suivante)
  - ▶ Les **arguments de la fonction appelée**
  - ▶ Un espace pour la **valeur de retour** de la fonction appelée



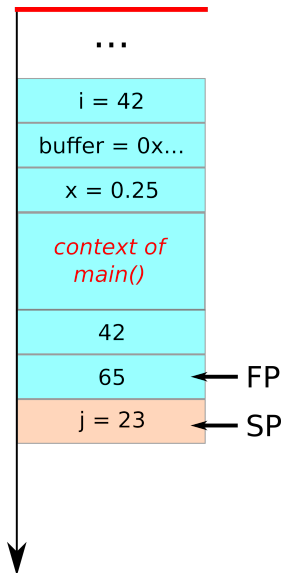
## Exemple

```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- ▶ Les variables locales de `foo` sont empilées comme celles de `main`
- ▶ Elles constituent la **stack frame** ("tranche de pile") de `foo` (en jaune), au dessus de celle de `main` (en bleu)
- ▶ Le **frame pointer** (FP) pointe vers le sommet de la frame précédente



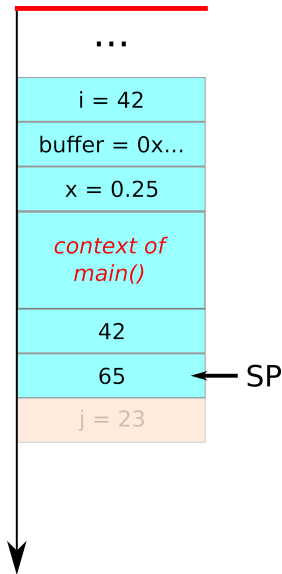
## Exemple

```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- Lors d'un return : la valeur de retour est mise à la valeur désirée



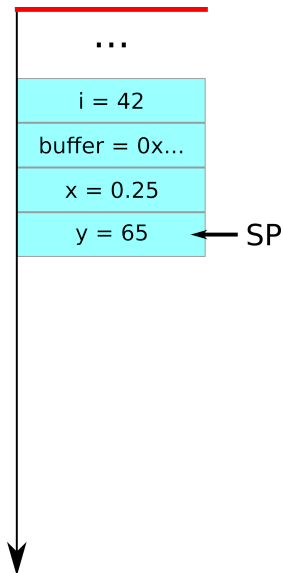
## Exemple

```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- ▶ Le *stack pointer* (SP) est fixé à l'adresse pointée par le *frame pointer* (FP).
- ▶ Les variables locales de `foo` sont perdues !



## Exemple

```
int foo(int val)
{
    int j = 23;
    return val+j;
}
```

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i = 42;
    char * buffer = malloc(64*sizeof(char));
    float x = 0.25;
    int y = foo(i);
    ...
}
```

## Fonctionnement de la pile

- La valeur de retour est récupérée et l'exécution continue...

## L'appel système mmap

- ▶ L'appel `mmap` permet de **projeter en mémoire** le contenu d'un fichier
- ▶ Il renvoie un pointeur vers un espace mémoire ; lire ou écrire dans cet espace se traduit par une modification du fichier
- ▶ L'espace utilisé se trouve dans la zone non allouée de l'espace d'adressage virtuel (entre le *program break* et le sommet de la pile)
- ▶ `munmap` : supprime la projection
- ▶ Lecture/écriture bufferisée : le fichier est synchronisé lors de l'appel à `munmap`, ou avant en utilisant `msync`.

## mmap

```
#include <sys/mman.h>}
```

```
void *mmap(void *addr, size_t length, int prot, int flags, int fd, off_t offset
```

- ▶ `addr` : adresse à laquelle on *préfererait* que le mapping soit localisé (pas de garantie)
- ▶ `fd` : descripteur du fichier à projeter (obtenu par `open`)
- ▶ `length` octets du fichier à partir de `offset` sont projetés en mémoire
  - ▶ `offset` doit être un multiple de la taille d'une page mémoire (4096 octets)
  - ▶ Le fichier doit **déjà avoir une taille suffisante** (impossible de l'étendre)
- ▶ `prot` : mode de protection du fichier
  - ▶ `PROT_READ` (lecture), `PROT_WRITE` (écriture), `PROT_EXEC` (exécution)
  - ▶ Doit être cohérent avec le mode d'ouverture donné à `open` !
- ▶ `flags`
  - ▶ `MAP_SHARED` (ou `MAP_PRIVATE`)
  - ▶ `MAP_FILE` (ou `MAP_ANON`)
  - ▶ Détaillé plus loin
- ▶ Renvoie un pointeur vers la projection mémoire, ou -1 en cas d'échec



## `munmap`

```
#include <sys/mman.h>}  
void *munmap(void *addr, size_t length);}
```

- ▶ Supprime toutes les projections mémoire à partir de `addr` et sur `length`
- ▶ Synchronise aussi les fichiers projetés avec le contenu de la projection
- ▶ Renvoie 0 en cas de succès, -1 en cas d'erreur

## `msync`

```
#include <sys/mman.h>}  
int msync(void *addr, size_t length, int flags);
```

- ▶ Force la synchronisation de toutes les projections mémoire à partir de `addr` et sur `length` avec le(s) fichier(s)
- ▶ `flags` : `MS_ASYNC` (appel asynchrone, retourne immédiatement) ou `MS_SYNC` (appel synchrone, retourne quand les fichiers ont effectivement été mis à jour)
- ▶ Renvoie 0 en cas de succès, -1 en cas d'erreur

## Exemple - mmap.c

```
1  #define _GNU_SOURCE
2
3  #include <sys/mman.h>
4  #include <string.h>
5  #include <sys/types.h>
6  #include <sys/stat.h>
7  #include <fcntl.h>
8  #include <unistd.h>
9
10 int main(int argc, char* argv[])
11 {
12     char mystring[] = "hello_world!";
13     float pi = 3.1416;
14     int fd = open("mystring", O_RDWR);
15     int fd2 = open("myfloat", O_RDWR);
16     char* mymap = (char*)mmap(NULL, 4096, PROT_READ|PROT_WRITE,
17                               MAP_FILE|MAP_SHARED, fd, 0);
18     float* mymap2 = (float*)mmap(NULL, 4096, PROT_READ|PROT_WRITE,
19                                 MAP_FILE|MAP_SHARED, fd2, 0);
20     strcpy(mymap, mystring);
21     *mymap2 = pi;
22     munmap(mymap, 4096);
23     munmap(mymap2, 4096);
24     close(fd);
25     close(fd2);
26 }
```

## Une façon de plus de lire et écrire des fichiers – pour quoi faire ?

- ▶ `mmap` est assez complexe à utiliser
  - ▶ Demande un `open` préalable
  - ▶ Mode d'accès binaire
  - ▶ Pas de notion de curseur (on doit savoir où lire/écrire en utilisant un pointeur)
  - ▶ Pas possible d'étendre un fichier existant
- ▶ ...mais il est *extrêmement* performant

\*\*\* `mmap-perf.c` \*\*\*  
\*\*\* `write-perf.c` \*\*\*  
\*\*\* `fwrite-perf.c` \*\*\*

## Performances

Remplir un fichier de 4096 octets avec la valeur binaire "42" (10000 fois)

- ▶ Avec `write` : 5.886s
- ▶ Avec `fwrite` : 0.337s
- ▶ Avec `mmap` : 0.107s

## mmap anonyme

- ▶ Le flag `MAP_ANON` permet d'obtenir une projection anonyme, c'est à dire qui ne renvoie à aucun fichier.
- ▶ Le paramètre `fd` est ignoré
- ▶ La plage mémoire concernée est initialisée avec des 0
- ▶ Assez similaire à un `malloc`
  - ▶ D'ailleurs, `malloc` utilise parfois `mmap` en interne.

## Particularité de mmap – mémoire partagée

- ▶ Le flag `MAP_SHARED` permet d'obtenir une projection partagée entre un processus et ses enfants (sinon utiliser `MAP_PRIVATE`)
  - ▶ Possible car une partie de l'espace d'adressage est recouvert par le fichier projeté : les accès à cette zone ne renvoient plus à l'espace mémoire propre au processus.
- ▶ Permet d'utiliser `mmap` (en particulier avec `MAP_ANON`) pour la communication entre processus par mémoire partagée
- ▶ Très performant
- ▶ Demande de gérer les problèmes de concurrence et de synchronisation (par exemple avec des tubes)
- ▶ Exemple : **`mmap-ipc.c`**
- ▶ (Des mécanismes plus élaborés existent aussi : `shm_open()`, etc.)

## Utilisation de la fonction `fstat()` et `stat()`

- ▶ Les attributs associés aux fichiers peuvent être récupérés par un appel aux primitives `stat()` et `fstat()` :  
`int stat(const char *ref, struct stat *infos);`  
`int fstat(const int desc, struct stat *infos);`
- ▶ Leur utilisation nécessite les inclusions suivantes :  
`#include <sys/types.h>`  
`#include <sys/stat.h>`
- ▶ Ces deux fonctions retournent les attributs associés à un fichier soit désigné par son nom ( `stat()` ) soit désigné par son descripteur ( `fstat()` ).
- ▶ Le type `struct stat` est défini dans `#include <sys/stat.h>` :

```
1 struct stat {
2     dev_t      st_dev;      /* ID of device containing file */
3     ino_t      st_ino;      /* inode number */
4     mode_t     st_mode;     /* protection */
5     nlink_t    st_nlink;    /* number of hard links */
6     uid_t      st_uid;      /* user ID of owner */
7     gid_t      st_gid;      /* group ID of owner */
8     dev_t      st_rdev;     /* device ID (if special file) */
9     off_t      st_size;     /* total size, in bytes */
10    blksize_t   st_blksize;  /* blocksize for file system I/O */
11    blkcnt_t    st_blocks;   /* number of 512B blocks allocated */
12    time_t      st_atime;    /* time of last access */
13    time_t      st_mtime;    /* time of last modification */
14    time_t      st_ctime;    /* time of last status change */
15 };
```

## Utilisation de la fonction `fstat()` et `stat()`

Le type de fichier codé dans le champ `mode_t` peut être obtenu en utilisant l'une des macros suivantes :

- ▶ `S_ISBLK(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est un fichier spécial en mode bloc ;
- ▶ `S_ISCHR(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est un fichier spécial en mode caractères ;
- ▶ `S_ISDIR(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est un répertoire ;
- ▶ `S_ISFIFO(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est un tube nommé ;
- ▶ `S_ISREG(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est un fichier régulier ;
- ▶ `S_ISLNK(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est lien symbolique ;
- ▶ `S_ISSOCK(infos->st_mode)` , renvoie vrai si le fichier est un socket ;

Errors :

- ▶ `EACCES` : search permission is denied in the path prefix (path resolution)
- ▶ `ELOOP` : too many symbolic links while traversing the path
- ▶ `EOVERFLOW` : path refers to a file whose size cannot be represented in the type `off_t` (e.g. application compiled on 32-bit platform without 64 bits flag enabled)

## Exemple

```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/stat.h>
3 #include <stdio.h>
4 #include <time.h>
5
6 main() {
7     struct stat info;
8     char filepath[] = "test_stat.c";
9     if (stat(filepath, &info) != 0)
10         perror("stat()_error");
11     else {
12         printf("\nstat():_information_about_s:", filepath);
13         printf("  _inode:    _d\n",    (int) info.st_ino);
14         printf("  _dev_id:   _d\n",    (int) info.st_dev);
15         printf("  _mode:    _08x\n",    info.st_mode);
16         printf("  _links:   _d\n",    info.st_nlink);
17         printf("  _uid:    _d\n",    (int) info.st_uid);
18         printf("  _gid:    _d\n",    (int) info.st_gid);
19         printf("  _atime:  _s",    ctime(&(info.st_atime)));
20         printf("  _mtime:  _s",    ctime(&(info.st_mtime)));
21         printf("  _size:   _d\n",    (int) info.st_size);
22         printf("  _blksize: _d\n",    (int) info.st_blksize);
23         printf("  _blocks: _d\n",    (int) info.st_blocks);
24         printf("  _regular: _d\n",    (int) S_ISREG(info.st_mode));
25         printf("  _dir:    _d\n",    (int) S_ISDIR(info.st_mode));
26     }
27 }
```

## Exemple

```
1 $ ./test_stat
2
3 stat(): information about /home/vincent/un_truc.txt:
4   inode:    1081492
5   dev id:   2056
6   mode:     000081a4
7   links:    1
8   uid:      1000
9   gid:      1000
10  atime:     Mon Nov  9 11:21:53 2009
11  mtime:     Mon Nov  9 11:21:26 2009
12  bl size:   4096
13  blocks:    16
14  regular:   1
15  dir:       0
```

Un autre exemple :

```
**** test_stat_new.c ****
```



# Exploration d'un répertoire

La consultation des répertoires est transparente vis-à-vis de l'implantation du système de fichiers au travers des quatre fonctions suivantes :

- ▶ `DIR *opendir(const char *nom)` renvoie un descripteur de répertoire lequel sera utilisé pour parcourir la liste des entrées une entrée à la fois.
- ▶ `struct dirent *readdir(DIR *desc)` renvoie l'entrée suivante du répertoire désigné par le descripteur, NULL si l'on est en fin de parcours.
- ▶ D'après la norme POSIX, une entrée de répertoire est au format suivant :

```
1 struct dirent {  
2     ino_t    d_ino;           // inode de l'objet sur le disque  
3     char     d_name[];       // nom de l'objet (fichier ou repertoire)  
4 };
```

- ▶ L'utilisation de cette structure nécessite l'inclusion de `#include <dirent.h>` .
- ▶ `void closedir (DIR *desc)` referme le flot de lecture du répertoire, le descripteur n'est plus utilisable sauf pour le réouvrir.
- ▶ `void rewinddir(DIR *desc)` peut être utilisée afin de reprendre le parcours du répertoire désigné par descripteur au début en resynchronisant la lecture sur l'état courant du répertoire.

## TEST : mini-ls

Write a program called `mini-ls` which prints the information about the content of given folder, exploiting :

- ▶ `opendir`
- ▶ `stat`
- ▶ `closedir`

By default, it takes the current folder (i.e. the one where the command is launched), otherwise a specified path :

```
$ ./minils
$ ./minils /home/icub/software/
```

## mini-ls

```
1  #include <stdlib.h>
2  #include <stdio.h>
3  #include <sys/types.h>
4  #include <sys/stat.h>
5  #include <dirent.h>
6  #include <stdio.h>
7  #include <time.h>
8
9  static int ls(const char* repertoire) {
10     DIR          *descripteur;
11     struct dirent *entree;
12     struct stat info;
13     descripteur = opendir(repertoire);
14     if (descripteur == NULL) {
15         fprintf(stderr, "Ouverture du repertoire %s impossible.\n", repertoire);
16         return EXIT_FAILURE;
17     }
18     while ((entree = readdir(descripteur)) != NULL) {
19         stat(entree->d_name, &info);
20         if (!S_ISDIR(info.st_mode)){
21             puts(entree->d_name);
22             printf("uuuuid:uuu%d\n",    (int) info.st_uid);
23             printf("uuugid:uuu%d\n",    (int) info.st_gid);
24             printf("uuatime:uuu%s",    ctime(&(info.st_atime)));
25             printf("uumtime:uuu%s",    ctime(&(info.st_mtime)));
26             printf("blsize:uuu%d\n",    (int) info.st_blksize);
27             printf("ublocks:uuu%d\n",    (int) info.st_blocks);
28         }
29     }
30     closedir(descripteur);
31     return EXIT_SUCCESS;
32 }
```

## mini-ls

```
1
2 int main(int argc, char *argv[]) {
3     int i, retour;
4
5     if (argc==1)
6         retour = ls(".");
7     else {
8         retour = EXIT_SUCCESS;
9         for (i=1; i<argc; i++){
10             if (ls(argv[i]) != EXIT_SUCCESS){
11                 retour = EXIT_FAILURE;
12             }
13         }
14     }
15     exit(retour);
}
```

## mini-ls

```
1 $ ./test_dir ..
2 ..
3     uid:    1000
4     gid:    1000
5     atime:  Mon Nov  9 12:13:05 2009
6     mtime:  Mon Nov  9 12:10:56 2009
7 bl size:   4096
8 blocks:    8
9 .
10     uid:    1000
11     gid:    1000
12     atime:  Mon Nov  9 12:08:44 2009
13     mtime:  Mon Nov  9 12:12:58 2009
14 bl size:   4096
15 blocks:    8
16 cours6_progsys-slides.pdf
17     uid:    1000
18     gid:    1000
19     atime:  Mon Nov  9 12:08:44 2009
20     mtime:  Mon Nov  9 12:12:58 2009
21 bl size:   4096
22 blocks:    8
```