



Licence d'informatique
Module de Programmation des systèmes

Système de fichiers et entrées/sorties

Philippe MARQUET

Décembre 2004
Révisé en janvier 2006
Révision de février 2007

Ce document est le support de travaux dirigés et de travaux pratiques relatifs aux notions de système de fichiers et d'entrée/sortie. On étudie la manipulation de ces notions par les primitives POSIX et la bibliothèque C standard.

1 Quelques commandes Unix

Il est proposé de réimplanter quelques commandes Unix courantes. Ces quelques exercices illustrent l'utilisation des primitives POSIX relatives au système de fichiers : autorisations d'accès, parcours d'un répertoire, parcours d'un système de fichiers, entrées/sorties.

Vérifier les droits d'accès... et expliquer

La commande Unix `access` vérifie les droits d'accès (lecture : option `-r`, écriture : option `-w`, exécution : option `-x`) à un fichier donné. L'invocation de la commande comporte une option obligatoire spécifiant le ou les accès à vérifier.

La commande `access` n'affiche rien mais retourne son résultat sous la forme d'une terminaison sur un succès ou un échec. Ce comportement peut par exemple être mis en valeur dans une session telle la suivante (Il s'agit d'une session C-shell. Pour un shell de la famille de `sh` tel `bash`, on utilisera `$?` en remplacement de `$status`) :

```
% access -r /tmp
% echo $status
0
% access -r /tmp && echo OK
OK
% access -w /etc/passwd
% echo $status
1
% access -w /etc/passwd && echo OK
%
```

Dans le cadre de ces exercices, il s'agit de fournir notre propre version de la commande `access` qui supporte l'option supplémentaire `-v` (*verbose*) expliquant, en cas d'échec, ce pourquoi l'accès est impossible. Les raisons possibles de l'échec sont les suivantes :

1. Le droit d'accès demandé au fichier n'est pas positionné.
2. Le fichier n'existe pas.
3. Une des composantes du nom de fichier n'est pas un répertoire.
4. Une des composantes du nom du fichier est trop longue.
5. Le nom du fichier est trop long.

Contraintes POSIX

La norme POSIX fournit un certain nombre de contraintes de taille ou longueur diverses. Ces contraintes définissent des valeurs minimales que doit garantir toute implémentation de la norme. La norme POSIX impose aussi que les valeurs effectivement garanties par l'implémentation soient accessibles aux applications.

Parmi les macro-définitions fournies par les fichiers `<limits.h>` et `<unistd.h>` on trouve

NAME_MAX qui est la longueur maximale d'un nom d'entrée dans le système de fichiers (dont la valeur minimale requise est 14) ;

PATH_MAX qui est la longueur maximale d'un chemin dans le système de fichiers (dont la valeur minimale requise est 255).

Code source POSIX

Afin de spécifier au compilateur que le code source C que l'on désire compiler est conforme à la norme POSIX, on définira la macro `_XOPEN_SOURCE` avec une valeur supérieure ou égale à 500.

Un `Makefile` comportera donc par exemple :

```
CC      = gcc
CFLAGS  = -Wall -Werror -ansi -pedantic
CFLAGS += -D_XOPEN_SOURCE=500
CFLAGS += -g
```

Les curieux pourront consulter le contenu du fichier `/usr/include/features.h` !

6. Le nom du fichier comporte trop de liens symboliques.
7. Autre erreur.

Exercice 1 (`prlimit`, information de configuration)

Fournissez une commande `prlimit` qui affiche les valeurs des constantes `NAME_MAX` et `PATH_MAX` sur votre système, voir l'encart. ☐

Exercice 2 (`maccess`, ma commande `access`)

Fournissez une commande `maccess` qui ajoute l'option `-v` à la commande `access` standard qui fournit un des sept motifs d'erreur possibles.

Les permissions d'accès à un fichier peuvent être vérifiées par l'utilisation de l'appel système `access()`. La page de manuel :

```
% man 2 access
```

pourra être consultée. ☐

Exercice 3 (Trouver les 7 erreurs)

Fournissez un exemple de session shell comportant une suite d'invocations de la commande `maccess` produisant l'ensemble des sept erreurs possibles. Cette session inclura les commandes de création des fichiers sur lesquels la commande `maccess` est invoquée.

Voir l'encart page suivante sur la manière de réaliser une copie d'une session. ☐

Retrouver une commande

La commande Unix `which` recherche les commandes dans les chemins de recherche de l'utilisateur.

La variable d'environnement `$PATH` contient une liste de répertoires séparés par des « : ». Lors de l'invocation d'une commande depuis le shell, un fichier exécutable du nom de la commande est recherché dans l'ordre dans ces répertoires. C'est ce fichier qui est invoqué pour

Copie d'une session

La commande `script` permet de fournir dans un fichier une copie d'une session shell. Exemple :

```
% pwd
/users/phm/ens/pds/src
% ls
CVS/      atexit.c  echouser.c  mecho*      mecho.c~    mprintenv.c~
Makefile atexit.c~ maccess*   mecho.c      mprintenv*
atexit*  echouser* maccess.c   mecho.c.~1.1. mprintenv.c
% script session.txt
Script started, output file is session.txt
% pwd
/users/phm/ens/pds/src
% ls
CVS/      atexit.c  echouser.c  mecho*      mecho.c~    mprintenv.c~
Makefile atexit.c~ maccess     mecho.c      mprintenv*  session.txt
atexit*  echouser* maccess.c   mecho.c.~1.1.~ mprintenv.c
% exit
Script done, output file is session.txt
% ls
CVS/      atexit.c  echouser.c  mecho*      mecho.c~    mprintenv.c~
Makefile atexit.c~ maccess     mecho.c      mprintenv*  session.txt
atexit*  echouser* maccess.c   mecho.c.~1.1.~ mprintenv.c
% cat session.txt
Script started on Sun Dec 19 05:52:24 2004
% pwd
/users/phm/ens/pds/src
% ls
CVS/      atexit.c  echouser.c  mecho*      mecho.c~    mprintenv.c~
Makefile atexit.c~ maccess     mecho.c      mprintenv*  session.txt
atexit*  echouser* maccess.c   mecho.c.~1.1.~ mprintenv.c
% exit
Script done on Sun Dec 19 05:52:30 2004
%
```

l'exécution de la commande. Si aucun fichier ne peut être trouvé, le shell le signale par un message.

La commande `which` affiche le chemin du fichier qui serait trouvé par le shell lors de l'invocation de la commande :

```
% echo $PATH
/bin:/usr/local/bin:/usr/X11R6/bin:/users/phm/bin
% which ls
/bin/ls
% echo $status
0
% which foo
foo: Command not found.
% echo $status
1
```

Exercice 4 (Liste des répertoires de recherche)

Dans un premier temps, proposez une fonction `filldirs()` qui remplit un tableau `dirs` contenant la liste des noms des répertoires de `$PATH`. Ce tableau sera terminé par un pointeur `NULL`. □

Exercice 5 (Une fonction `which()`)

Écrivez maintenant une fonction `which()` qui affiche le chemin absolu correspondant à la commande dont le nom est passé en paramètre ou un message d'erreur si la commande ne peut être trouvée dans les répertoires de recherche de `$PATH`. Cette fonction retourne une valeur booléenne indiquant un succès ou un échec de la recherche.

On pourra utiliser l'appel système

```
#include <unistd.h>
int access(const char *path, int mode);
```

qui vérifie les permissions fournies sous la forme d'un « ou » des valeurs `R_OK` (*read*, lecture), `W_OK` (*write*, écriture), `X_OK` (*execution*, exécution), `F_OK` (existence). □

Exercice 6 (La commande `which`)

Terminez par écrire votre propre version de la commande `which` qui se termine par un succès si et seulement si toutes les commandes données en paramètre ont été trouvées dans les répertoires de recherche désignés par `$PATH`. □

Afficher le répertoire courant

La commande `pwd` (*print working directory*) affiche le chemin absolu du répertoire de travail courant.

La fonction

```
char *getcwd(char *buf, size_t size);
```

de la bibliothèque C copie le chemin absolu du répertoire courant dans le tableau `buf` de taille `size`. Si `buf` est `NULL`, la bibliothèque alloue dynamiquement un espace nécessaire pour y stocker le résultat et en retourne alors l'adresse.

Exercice 7 (Utilisation de `getcwd()`)

Il est immédiat de fournir une implantation de la commande `pwd` basée sur une utilisation de `getcwd()`. □

L'implantation de cette fonction `getcwd()` ne repose pas sur un appel système unique mais exploite la structuration des répertoires et les liens `.` et `..` pour construire ce chemin absolu.

Pour un processus donné, le système ne conserve que le numéro d'inœud courant, à partir duquel il lui est possible d'accéder au répertoire courant. La navigation à partir de ce répertoire est utilisé pour tous les chemins relatifs, en particulier ceux vers des répertoires parents, tels `..` ou `../..`, etc.

Le système conserve aussi l'inœud du répertoire racine `/` qui lui permet d'accéder à tous les chemins absolus.

Il s'agit maintenant de proposer une implantation de la commande `pwd` ne reposant pas sur la bibliothèque C. Le principe en est le suivant :

- on part du répertoire `.` ;
- on cherche dans le répertoire `..` le nom du lien qui référence le même inœud que `.` ; ce nom existe assurément ; soit `cname` ce nom ; le chemin absolu que l'on cherche à construire est de la forme `../cname` ;
- on cherche alors dans le répertoire `../..` le nom du lien qui référence le même inœud que `..` ; soit `pname` ce nom ; le chemin absolu que l'on cherche à construire est de la forme `../../pname/cname` ;
- on itère cette remontée jusqu'à trouver la racine du système de fichiers ;
- la racine du système de fichier peut être identifiée :
 - par le fait qu'elle correspond à l'inœud du chemin `/`, ou
 - par le fait qu'elle est son propre parent.

Informations sur une entrée

Deux valeurs peuvent être utilisées pour rechercher des informations sur une entrée dans un système de fichiers :

- des valeurs de type `struct dirent` retournée par l'appel système `readdir()` ;
- des valeurs de type `struct stat` retournée par l'appel système `stat()`, `lstat()` (dans le cas d'un lien symbolique, informations sur le fichier lui-même et non sur le fichier désigné par le lien symbolique), ou `fstat()` (informations sur un fichier désigné par un descripteur).

Ces structures comportent les champs suivants :

```
struct dirent {
    ino_t      d_ino;        /* File number of entry */
    char       d_name[];     /* Name of entry */

    struct stat {
        dev_t      st_dev;    /* Device ID of device containing file */
        ino_t      st_ino;    /* File serial number */
        mode_t     st_mode;   /* Mode of file */
        nlink_t    st_nlink;  /* Number of hard links to the file */
        uid_t      st_uid;    /* User ID of file */
        gid_t      st_gid;    /* Group ID of file */
        dev_t      st_rdev;    /* Device ID (if file is character or block
                               special) */
        off_t      st_size;    /* For regular files, the file size in bytes.
                               For symbolic links, the length in bytes of
                               the pathname contained in the symbolic
                               link */
        time_t     st_atime;   /* Time of last access */
        time_t     st_mtime;   /* Time of last data modification */
        time_t     st_ctime;   /* Time of last status change */
        blksize_t  st_blksize; /* A file system-specific preferred I/O block
                               size for this file */
        blkcnt_t   st_blocks;  /* Number of blocks allocated for this file */
    };
};
```

Notez qu'il s'agit là des champs définis par la norme POSIX, une implantation particulière peut fournir des informations supplémentaires que l'on évitera d'utiliser.

Les macros suivantes peuvent être utilisées sur le champ `st_mode` :

S_ISREG (m) Test for a regular file.

S_ISDIR (m) Test for a directory.

S_ISLNK (m) Test for a symbolic link.

S_ISFIFO (m) Test for a pipe or FIFO special file.

S_ISSOCK (m) Test for a socket.

S_ISBLK (m) Test for a block special file.

S_ISCHR (m) Test for a character special file.

Exercice 8 (Racine du système de fichiers)

Donnez le code d'une fonction qui détermine si un chemin donné en paramètre correspond à la racine du système de fichiers. ☐

Exercice 9 (Mon nom dans le répertoire parent)

Fournissez une fonction `print_name_in_parent()` qui affiche sur la sortie standard le nom du lien d'un nœud donné dans son répertoire père. ☐

Exercice 10 (Construction du chemin absolu)

L'affichage du chemin absolu d'un répertoire pouvant être produit par l'affichage du chemin absolu du répertoire père suivi du nom du répertoire courant dans le répertoire père, proposez une définition de la fonction récursive `print_node_dirname()` qui affiche le chemin absolu du répertoire passé en paramètre. ☐

Exercice 11 (Fonction `pwd()`)

Terminez par une fonction `pwd()` qui affiche le chemin absolu du répertoire courant. ☐

Parcours d'une hiérarchie

La commande `du` (*disk usage*) rapporte la taille disque utilisée par un répertoire et l'ensemble de ses fichiers (y compris ses sous-répertoires).

Deux tailles peuvent être prises en compte pour un fichier :

- la taille apparente, qui est le nombre d'octets contenus dans le fichier ;
- la taille réelle, qui correspond effectivement au nombre de blocs disque utilisés par le fichier.

Les champs `st_size` et `st_blocks` d'une structure de type `struct stat` retournée par l'appel système `stat()` contiennent respectivement la taille apparente et la taille réelle d'un fichier ; se référer à l'encart page précédente.

Comme pour toutes les commandes réalisant un parcours d'une hiérarchie, il faut préciser le traitement réalisé sur les liens rencontrés : doivent-ils être suivis ou non ?

La commande `du` comporte donc deux options

- **-L** indiquant de suivre les liens symboliques ; ce qui n'est pas le cas par défaut ;
- **-b** indiquant de rapporter les tailles apparentes ; ce sont les tailles réelles qui sont rapportées sinon.

Une possible implantation peut définir deux variables globales pour mémoriser l'état de ces options :

```
static int opt_follow_links = 0;
static int opt_apparent_size = 0;
```

Dans un premier temps on suppose que l'option `opt_follow_links` est définie à faux.

Exercice 12 (Filtrer les entrées)

Proposez une implantation d'une fonction

```
int valid_name(const char *name);
```

qui indique, si le chemin `name` doit être considéré par la commande `du` ou non. Afin d'assurer la terminaison de l'exécution, les entrées de nom `.` et `..` ne seront pas considérées. ☐

Exercice 13 (Taille d'un fichier)

Proposez une implantation d'une fonction récursive

```
int du_file(const char *pathname);
```

qui retourne la taille occupée par le fichier désigné et ses éventuels sous-répertoires.

Comme dans un premier temps on ne suit pas les liens symboliques, la taille d'un lien symbolique est la taille occupée par le lien, et non par le fichier visé. ☐

Exercice 14 (Comptage multiple ?)

Un nœud qui serait référencé plusieurs fois dans une hiérarchie dont on veut afficher la taille serait comptabilisé plusieurs fois. En quoi est-ce gênant. Comment s'en affranchir ? ☐

Exercice 15 (Suivre les liens symboliques)

Comment modifier notre implantation actuelle pour suivre les liens symboliques. ☐

Afficher la fin d'un fichier

La commande Unix `tail` affiche les dernières lignes des fichiers désignés par les paramètres de la ligne de commande. L'option `-n` indique d'afficher les n dernières lignes. Par défaut, les 10 dernières lignes sont produites.

Exercice 16 (Version simpliste de `tail`)

Une version simpliste de la commande détermine le nombre de lignes du fichier puis parcourt le fichier pour débiter l'affichage n lignes avant la fin.

Malgré l'inconvénient majeur de cette approche, proposez une telle implantation. ☐

Exercice 17 (Version utile de `tail`)

Une première version utile de la commande lit le fichier depuis le début en conservant dans un tampon circulaire les n dernières lignes lues. Ce tampon est affiché quand la fin du fichier est atteinte.

Pourquoi une telle implantation peut-elle être qualifiée d'utile ? ☐

Une solution plus efficace consiste à lire le fichier depuis la fin. On lit un tampon de caractères d'une taille arbitraire (mais judicieusement choisie !). On y compte le nombre de retours à la ligne. S'il est supérieur à n , on peut afficher les n dernières lignes. Sinon, on lit le tampon précédent...

Exercice 18 (Fin d'un tampon)

Écrivez une fonction

```
int index_tail_buffer(const char *buffer, int bufsize,
                    int ntail, int *nlines);
```

qui retourne l'index du début des `ntail` dernières lignes. Cet index est relatif au tampon de taille `bufsize`. Si le tampon comporte moins de `ntail` lignes, une valeur négative est retournée et `nlines` est positionné avec le nombre de lignes du buffer. ☐

Exercice 19 (Fonction `tail()` relative)

Écrivez une fonction récursive

```
tail_before_pos(int fd, unsigned int pos, int ntail);
```

qui considère le contenu du fichier référencé par le descripteur `fd` jusqu'à sa position `pos`. Cette position `pos` est comprise comme un déplacement depuis la fin du fichier. La fonction récursive `tail_before_pos()` affiche les `ntail` dernières lignes du fichier. ☐

Exercice 20 (Version efficace de `tail`)

Écrivez enfin une fonction

```
tail(const char *path, int ntail);
```

qui affiche les `ntail` dernières lignes du fichier désigné. ☐

2 Bibliothèque d'entrées/sorties temporisées

Les primitives d'entrées/sorties fournies par l'interface POSIX manipulant des descripteurs de fichiers sont complétées par les fonctions de la bibliothèque C standard manipulant des structures de type `FILE`.

L'objet des exercices proposés ici est d'implanter, au dessus des appels systèmes POSIX, une bibliothèque utilisateur reprenant certaines des caractéristiques de la bibliothèque C.

Appels système POSIX

Les appels systèmes POSIX manipulent des *descripteurs de fichiers* qui sont référencés par des entiers `int`. Ces primitives utilisent des tampons qui ne sont pas accessibles à l'utilisateur et qui sont partagés par tous les processus. La taille de ces tampons est directement liée aux périphériques utilisés ; c'est par exemple la taille des secteurs d'un disque...

Chaque invocation d'une de ces primitives nécessite le transfert du flux d'exécution de l'espace utilisateur vers l'espace noyau ; transfert qui est coûteux.

Les entrées/sorties de ce niveau ont donc intérêt à être réalisées sur des données de taille multiple de la taille des tampons et sur une frontière multiple de cette même taille.

C'est ce type de contraintes qu'assurent les fonctions de la bibliothèque d'entrées/sorties.

Bibliothèque d'entrées/sorties standard

Les fonctions de la bibliothèque manipulent des *flots* (*stream*) implémentés par des `FILE`.

Le tampon associé à un flot est dans l'espace utilisateur : chaque invocation d'une opération d'entrée/sortie ne nécessite plus le passage en mode noyau. Ce dernier n'ayant lieu que pour vider ou remplir un tampon utilisateur.

La taille de ces tampons est choisie pour correspondre aux caractéristiques du périphérique. Les entrées/sorties de bas niveau se feront donc bien par taille et sur des frontières multiples de la taille des tampons systèmes.

Ces tampons système conservent cependant leur intérêt puisqu'ils permettent à un processus de ne pas attendre l'écriture réelle sur le disque et autorisent la lecture anticipée.

Outre le fait que ces entrées/sorties soient temporisées, la bibliothèque C standard fournit aussi des fonctions de plus haut niveau qui impriment et analysent les données sous le contrôle d'une spécification de format (`printf()`, etc.).

Implantation d'une bibliothèque d'entrées/sorties temporisées

On propose ici une implantation d'une version très basique d'une bibliothèque d'entrées/sorties temporisées. Seules les équivalents des primitives `fopen()`, `fclose()`, `fgetc()`, et `fputc()` seront implantées.

On se limite aussi dans un premier temps à un mode d'accès en lecture/écriture alors la bibliothèque standard propose aussi des accès en lecture seule ou écriture seule.

La gestion d'un tampon utilisateur nécessite de mémoriser une position courante dans le tampon, l'index du tampon dans le fichier, le nombre de caractères valides dans le tampon, un indicateur signalant que le contenu du tampon a été modifié, et une référence au fichier sous la forme du descripteur associé aux appels système.

Exercice 21 (Type de données `pds_file_t`)

Proposez un type de données `pds_file_t`, pendant du `FILE` de la bibliothèque standard, pour mémoriser les informations associées à un de nos flots de données. □

La bibliothèque est organisée autour d'une structure de données regroupant toutes les informations nécessaires à la gestion de l'ensemble des fichiers ouverts par un processus. Le nombre de fichiers pouvant être ouverts par un processus étant borné, l'ensemble des structures associées aux flots ouverts peut être mémorisé dans un tableau.

Trois flots de données sont associées aux descripteurs `STDIN_FILENO`, `STDOUT_FILENO`, et `STDERR_FILENO` (0, 1 et 2) ; ils sont désignés par les symboles `pds_stdin`, `pds_stdout`, et `pds_stderr` qui eux-mêmes désignent les premiers éléments du tableau des références de flots.

Exercice 22 (Table des flots et entrées/sorties standard)

Donnez la définition et initialisation du tableau des descripteurs de flots ainsi celles des symboles référençant les entrées/sorties standard. □

Lors de l'ouverture d'un flot par un `pds_fopen()`, un emplacement libre est recherché dans le tableau des flots à partir du début du tableau. Une référence vers cet emplacement sera retournée en cas de succès. L'initialisation des différents champs de la structure est réalisée. En particulier, un appel système permet de réaliser l'ouverture du fichier associé au flot. L'allocation dynamique du tampon est réalisée, son contenu est lu depuis le fichier.

Exercice 23 (Création et ouverture d'un flot)

Donnez la définition d'une fonction

```
pds_file_t *pds_fopen(const char *path);
```

réalisant l'ouverture d'un flot de données et retournant une référence sur l'élément désignant ce flot dans le tableau des flots. La fonction `pds_fopen()` positionne le curseur de flot sur le début du flot. Si le fichier n'existe pas, `pds_fopen()` le crée. ☐

Exercice 24 (Vidage d'un tampon)

Implantez la fonction

```
int pds_fflush(pds_file_t *stream);
```

qui vide le tampon utilisateur si nécessaire par un appel système. ☐

Exercice 25 (Fermeture d'un flot)

Implantez la fonction

```
int pds_fclose(pds_file_t *stream);
```

qui termine l'utilisation d'un flot. ☐

Exercice 26 (Se déplacer)

Implantez la fonction

```
int pds_fseek(pds_file_t *stream, int position);
```

qui déplace la position courante à l'octet `position` du flot. ☐

Exercice 27 (Lire un caractère)

Réalisez la fonction

```
int pds_fgetc(pds_file_t *stream);
```

qui va chercher le prochain caractère du flot d'entrée référencé par `stream` et déplace l'indicateur de positionnement du flot.

Si le flot est en fin de fichier, retourne `PDS_EOF`. En cas d'erreur, l'indicateur d'erreur est positionné et c'est aussi cette valeur `PDS_EOF` qui est retournée. ☐

Exercice 28 (Écrire un caractère)

Donnez une implantation de la fonction

```
int pds_fputc(int c, pds_file_t *stream);
```

qui écrit le caractère `c` à la position courante du flot `stream` et incrémente cette position.

La fonction `pds_fputc()` retourne le caractère écrit. En cas d'erreur, la fonction retourne `PDS_EOF`. ☐

Validation de la bibliothèque d'entrées/sorties temporisées

L'implantation d'une bibliothèque comporte aussi une phase de test et validation à laquelle une durée conséquente du temps de développement doit être consacrée.

Dans un premier temps, des tests unitaires ad hoc pourront vérifier le comportement d'appels bien choisis de la bibliothèque pour en explorer toutes les fonctionnalités, y compris dans les cas limites.

Ces programmes de tests relèvent de la distribution d'une bibliothèque ; ils font aussi partie de ce qui doit être rendu en terme de travaux pratiques !

Performance d'une bibliothèque d'entrées/sorties temporisées

Une bibliothèque d'entrées/sorties temporisées telle que la bibliothèque standard ou celle proposée ici apporte des gains significatifs en terme de performance au prix d'une recopie supplémentaire.

Exercice 29 (Commandes `cat`)

Proposez trois versions de la commande `cat` qui recopie sur la sortie standard les contenus des fichiers donnés en paramètre :

- `catbib` qui utilise la bibliothèque ;
- `catsysc` qui utilise directement les appels système pour lire et écrire un caractère à la fois ;
- `catsysb` qui utilise des tampons de taille définie par la variable d'environnement `$CATSYSB_BUFSIZ` (par défaut 1024).

La comparaison des performances de `catbib` et `catsysc` permet d'évaluer les avantages de la temporisation. La comparaison des performances de `catbib` et `catsysb` permet d'évaluer le surcoût de l'allocation du tampon utilisateur et des recopies dans ce tampon utilisateur.

Par ailleurs, des comparaisons sur des fichiers de différentes tailles et des tailles de tampon variable permettent de mesurer l'influence de ces paramètres sur les performances des entrées/sorties, par exemple mesurées en megaoctets par seconde. □

3 Performances des entrées/sorties

Les quelques exercices suivants visent à montrer que l'utilisation de tampons améliore très sensiblement les performances des opérations d'entrées/sorties. Deux niveaux d'utilisation de tampons peuvent être distingués :

- les tampons mis en œuvre dans l'espace utilisateur, par exemple par la bibliothèque standard d'entrées/sorties ;
- les tampons mis en œuvre dans l'espace noyau par le système d'exploitation lui-même et autorisant la non synchronisation entre les appels systèmes et les écritures effectives sur les périphériques.

Il va s'agir de produire différentes versions de la commande `cat` et d'en comparer les performances.

Il est rappelé que la commande `cat` produit sur la sortie standard (`STDOUT_FILENO` ou `stdout`) le contenu des fichiers dont les noms sont fournis en paramètre. Notre implantation n'accepte aucune option.

Exercice 30 (Influence de la taille des tampons)

Il s'agit d'écrire une version de la commande `cat` utilisant directement les appels systèmes `read()` et `write()`. Le tampon est alloué dynamiquement au début de l'exécution, sa taille est définie par la variable d'environnement `$MCAT_BUFSIZ`. Cette version sera nommée `mact-scd` (mon `cat`, `sc` pour *system call* — appel système, `d` pour allocation dynamique du tampon). On invoquera successivement la commande avec en utilisant des tampons de 1 octet à 8 Mo en doublant la taille à chaque fois.

Durée d'exécution d'une commande

La commande `time` affiche le temps d'exécution d'une commande donnée en paramètre. Trois informations sont reportées (voir aussi l'option `-p`) :

- le temps écoulé entre le début et la fin de la commande (*elapsed time* ou *real time*) ;
- le temps processeur utilisé en mode utilisateur (*user time*) ;
- le temps processeur utilisé en mode système pour le compte du programme (*system time* ou *kernel time*).

Attention, il existe aussi une commande interne du shell nommée `time` qui reporte ces informations sous un autre format.

La commande `time` qui nous intéresse est souvent placée dans `/usr/bin/time`. Cette version comporte une option `-f` permettant de spécifier le format d'affiche du résultat à la manière de `printf`.

1. Donnez une implantation de `mcatscd`.
2. Testez cette commande sur un fichier de taille conséquente en entrée, typiquement quelques dizaines de Mo. On se souciera aussi du type du système de fichiers sur lequel réside ce fichier (option `-T` de la commande `df`). La sortie pourra être redirigée vers `/dev/null`.
3. Menez une campagne d'évaluation des performances de la commande en croisant le temps d'exécution de la commande (voir l'encart à propos de la commande `time` de mesure de temps) et la taille du tampon. On automatisera cette série d'exécutions par un script shell ; se référer à l'encart page suivante pour un exemple.
4. Visualisez les résultats par une courbe en utilisant la commande `gnuplot`. Il s'agit encore de se référer à l'encart page 13 pour un exemple. □

Exercice 31 (Version appel système optimale)

Implantez maintenant une version `mcatscs` (suffixe `s` pour *static*, statique) qui repose sur l'utilisation d'un tampon alloué statiquement de la taille optimale déterminée à l'étape précédente.

Exercice 32 (En utilisant la bibliothèque standard)

Implantez une version `mcatalib` qui utilise les primitives `fgetc()` et `fputc()` de la bibliothèque standard d'entrées/sorties et comparez les temps d'exécution avec la version précédente.

Exercice 33 (Écritures en mode synchronisée)

Afin de mettre en évidence l'influence des tampons systèmes, comparez la version précédente `mcatscs` avec une version `mcatosync` qui positionne l'attribut `O_SYNC` sur le descripteur de la sortie standard.

Exercice 34 (Synchronisation finale)

Pour terminer, produisez `mcatsfsync`, version modifiée de `mcatscs` qui vide les tampons disques suite aux écritures par un appel à `fsync()` et comparez les performances avec la version précédente.

Programmer en shell : les scripts shell

Un script shell est une suite de commandes shell regroupées dans un fichier dont l'exécution invoquera un shell avec la suite des commandes du fichier. En dehors des commandes habituellement utilisées en interactif, un shell reconnaît aussi des commandes telles des `if` ou `for` permettant le contrôle du flux d'exécution. Vous pourrez vous inspirer de l'exemple fourni ici. Sauvegardez le contenu suivant dans un fichier `mcat.sh`

```
#!/bin/sh -uf
#
# mcat -- campagne d'appels à mcat-scd
#
# squelette de shell script

# La commande à tester
MCAT=./mcat-scd
# le fichier à lui mettre en entrée
MCAT_INPUT=bigfile
# Le fichier de temps à générer
TIME_FILE=mcat-tm.dat

# la commande gnu time
TIME_CMD="/usr/bin/time"
# les options de cette commande
TIME_OPT="-f %e %U %S"

# initialisation du fichier de résultats
rm -f $TIME_FILE && echo "# real user sys" > $TIME_FILE

# un exemple de boucle
for str in foo bar gee ; do
    echo $str
done

# un autre exemple de boucle
for size in `awk 'BEGIN { for( i=1; i<=8388608; i*=2 ) print i }'`; do
    export MCAT_BUFSIZ=$size
    echo $MCAT_BUFSIZ
done

# un exemple de redirection des sorties standard et d'erreur
$TIME_CMD "$TIME_OPT" ls > /dev/null 2>> $TIME_FILE

# eof
```

Il s'agit ensuite de rendre exécutable ce fichier :

```
% chmod +x mcat.sh
```

que l'on peut ensuite invoquer :

```
% ./mcat.sh
foo
bar
gee
1
2
4
8
[...]
% cat mcat-tm.dat
# real user sys
0.01 0.00 0.01
```

Tracé de courbes avec *gnuplot*

Gnuplot est un utilitaire de tracé de courbes. Dans sa version interactive, *gnuplot* accepte des commandes au prompt. Ces commandes acceptent parfois des arguments. Les arguments chaîne de caractères doivent être fournis entre quotes simples ' ou doubles ".

La commande *plot* permet de tracer des courbes. Les données sont lues depuis un fichier à raison d'un couple abscisse/ordonnée par ligne comme dans cet exemple basique, fichier *ex1.dat* (les # introduisent des commentaires) :

```
# taille duree
10  540.25
12  398.25
16  653.75
```

que l'on donne en paramètre à la commande *plot* :

```
gnuplot> plot "ex1.dat"
```

Il est possible de désigner les colonnes à considérer dans un fichier en comportant plus de deux comme celui-ci (*ex2.dat*) :

```
# taille duree vitesse
10  540.25  56
12  398.25  35
16  653.75  21
```

on utilise alors l'option *using* de la commande *plot* :

```
gnuplot> set xlabel "taille en lignes"
gnuplot> set ylabel "vitesse en octets/s"
gnuplot> plot "ex2.dat" using 1:3
```

L'exemple suivant, plus complet, introduit d'autres commandes et options. On utilise ici le fait qu'il est possible d'invoquer *gnuplot* avec en paramètre un fichier comportant des commandes

```
% cat run.gnu
set title "Temps et vitesse d'exécution"
set logscale x
set xlabel "taille en lignes"
set logscale y
set ylabel "temps en s ou vitesse en octets/s"
set style data linespoints
plot "ex2.dat" using 1:2 title "temps", \
    "ex2.dat" using 1:3 title "vitesse"
pause -1 "Hit return to continue"
% gnuplot run.gnu
```