Licence L.1.1 : Programmation 1

Maire-Pierre Béal
http ://igm.univ-mlv.fr/∼beal

L.1.1 : Programmation 1

0. Bibliographie
1. Introduction au système Unix. Linux Debian
2. Organisation du système de fichier
3. Éditeurs, Emacs
4. Le langage C
   – Compilation, exécution d'un programme : premiers exemples.
   – Notion de variable et de valeur
   – Types de base
   – Itérations
   – Fonctions, passage de paramètres.
   – Tableaux. Chaînes de caractères
   – Types structurés

Organisation

Organisation : douze semaines d'enseignement découpées en :

- Cours : 12 séances de 2 heures,
  - 1 examen écrit en fin de semestre
- TD : 12 séances de 2 heures,
  - contrôles écrits
- TP : 12 séances de 2 heures,
  - contrôles sur machine plus un mini-projet.

– Plus les lundis du plan réussite en Licence.

Bibliographie

– *La programmation sous Unix*, 3e édition, Jean-Marie Rifflet, Science International, Paris, 1993

– *Passeport pour Unix et C*, Jean-Marc Champarnaud et Georges Hansel, Eyrolles, 2000.

– *Concepts Fondamentaux de l'Informatique*, A. Aho, V. Ullman, Dunod, 1993.

– *Méthodologie de la programmation en C*, Jean-Pierre Braquelaire, Masson, 1994.

– *Le langage C*, Brian Kernighan et Dennis Ritchie, Masson, 1988.

1

Système Unix

1. Système d'exploitation
2. Environnement de travail
3. Une session sous Unix
4. Le système de fichiers
5. Les éditeurs
6. Les processus
7. Le langage Shell

Système d'exploitation

Les machines que vous utilisez comprennent un seul processeur.

Un système d'exploitation est une interface entre le niveau matériel et les programmes de l'utilisateur. Il permet de gérer la mémoire, les périphériques, les processus, l'allocation au processeur, les requêtes des utilisateurs, la communication, etc ...

Il est constitué d'une gamme d'outils à la disposition de l'utilisateur dont des *interpréteurs de langage de commande*. Il comprend aussi des *appels système* (fonction dont le code est chargé en mémoire), qui sont utilisés par les programmes.

Unix

- système multi-utilisateurs
- système multi-tâches.
- interpréteurs de langages de commande (shell) : il existe plusieurs langages de commande bash (Bourne-again shell, sur les systèmes GNU/Linux), sh, ksh, csh, tcsh, etc ...
- commandes de bases relatives à la gestion de fichiers, à la messagerie, l'archivage, etc ...
- autres outils : éditeurs de texte, compilateurs, éditeurs de liens, etc ...

Environnement de travail

Vous allez travailler sur des machines PC Dell avec Linux, distribution debian.

Utilitaires

- environnement de développement : compilateurs (C, C++, Java, Caml, Ocaml, Python), Eclipse
- éditeurs : vi, vim et variantes, emacs, xemacs, ...
- traitements de texte : TeX, LaTeX, Ghostview, soffice, Acrobat Reader et Writer,...
- mathématiques et calcul formel : scilab, MuPad, Maple

Une session Linux

Se loger

- En tant qu'utilisateur, vous allez avoir un *nom d'utilisateur* (ou encore *nom de login* et un *mot de passe* (ce sont deux chaînes de caractères avec certaines contraintes). Sur l'écran apparaît tout d'abord une fenêtre pour le nom de login, puis ensuite une autre pour le mot de passe

```
login : beal
password : xxxxxxxx
```

- Après avoir tapé chacune des chaînes, on appuie sur la touche `Enter` (ou retour chariot).
- Si le login et le mot de passe sont corrects, on se retrouve connecté, c'est-à-dire reconnu par le système comme un utilisateur ayant lancé une nouvelle session de travail.
- L'effet est l'ouverture d'une session dite sous X. L'affichage sur l'écran de plusieurs fenêtres est géré par un système de gestion des fenêtres ou window manager. Certaines fenêtres sont des fenêtres d'information et d'autres des fenêtres interactives dans lesquelles on va par exemple taper des commandes qui seront interprétées par le langage de commande shell.
- En général une fenêtre dite texte, ou encore un terminal alphanumérique xterm, est ouverte par défaut par le gestionnaire de fenêtre. Dans cette fenêtre apparaît le *caractère d'invite* ou *prompt*, par exemple `$`. Dans cette fenêtre tourne un shell.

Se déloger

- Attention, pour se déloger, il ne suffit pas de taper `exit` ou `logout` dans une fenêtre xterm, ce qui arrête la session attaché à cette fenêtre.
- On accède par le bouton droit de la souris à des menus déroulant. En sélectionnant `exit` ou `exit session` on est déconnecté et on retrouve l'écran d'acceuil initial.
- Il ne faut jamais partir avant d'avoir effectué la manœuvre précédente.
- L'environnement permet de créer plusieurs bureaux (ou écrans) par le fenêtre en haut à gauche.
- Des fenêtres en haut à droite permettre de créer une nouvelle fenêtre de type xterm et de configurer le gestionnaire de fenêtres.
- Testez les menus déroulant avec les différents boutons de la souris (en particulier le bouton de droite). Pour lancer le logiciel de navigation Netscape par exemple, sélectionner `Application`, `Net`, `Netscape`. La page d'accueil est le serveur Web des étudiants `http://etudiant.univ-mlv.fr/`

Quelques exemples de commandes date, echo, who, finger, tty, man, wc

```
test@niznogood1:~$ date
lun sep 10 18:19:08 CEST 2001
test@niznogood1:~$ echo toto
toto
test@niznogood1:~$
```

Sur une autre machine, avec un autre prompt.

```
monge : ~ > who
bassino  pts/0    Sep  3 14:32
berstel  pts/2    Aug 27 10:49
herault  pts/5    Aug 21 14:33
ristov   pts/8    Sep 10 10:14
jyt      pts/9    Sep  5 11:12
ristov   pts/10   Sep 10 10:19
dr       pts/11   Sep  5 17:36
beal     pts/17   Sep 10 12:32
www      pts/19   Sep 10 15:49
beal     pts/20   Sep 10 16:09
sagot    pts/13   Sep 10 10:33
hivert   pts/15   Sep 10 12:19
marsan   pts/12   Sep 10 14:15
monge : ~ >
```

```
monge : ~ > finger berstel
Login: berstel                          Name: Jean Berstel
Directory: /home/institut/berstel       Shell: /bin/bash
On since Mon Aug 27 10:49 (CEST) on pts/2 from pcberstel
   3 days 5 hours idle
Mail last read Mon Sep 10 15:31 2001 (CEST)
No Plan.
monge : ~ > who
monge.univ-mlv.fr!beal     pts/21   Sep 10 16:14
monge : ~ > tty
/dev/pts/21
monge : ~ > man tty
--> affichage d'informations sur la commande tty
--> on en sort par q.
```

La commande **wc** permet de compter le nombre de lignes, de mots et de caractères d'un fichier.

```
monge : ~ > cat toto
Il fait
beau.
monge : ~ > wc toto
2  3 14 toto
```

Clavier, caractères de contrôle

- Certains caractères ont une action spéciale, par exemple l'appui sur la touche ← ou backspace provoque l'effacement du dernier caractère entré sur la ligne de commande.
- On peut modifier ces effets en reparamétrant la liaison entre le clavier et l'ordinateur par la commande `stty`.
- L'option `-a` de la commande `stty` permet de connaître l'état courant de la liaison.

```
beal@localhost ~/Enseignement/Prog1 $  stty -a
speed 38400 baud; rows 24; columns 80; line = 0;
intr = ^C; quit = ^\; erase = ^?; kill = ^U; eof = ^D; eol = M-^?;
swtch = M-^?; start = ^Q; stop = ^S; susp = ^Z; rprnt = ^R; werase
lnext = ^V; flush = ^O; min = 1; time = 0;
-parenb -parodd cs8 hupcl -cstopb cread -clocal -crtscts
-ignbrk brkint -ignpar -parmrk -inpck -istrip -inlcr -igncr icrnl
-iuclc ixany imaxbel -iutf8
opost -olcuc -ocrnl onlcr -onocr -onlret -ofill -ofdel nl0 cr0 tab
isig icanon iexten echo echoe echok -echonl -noflsh -xcase -tostop
echoctl echoke
beal@localhost ~ $
```

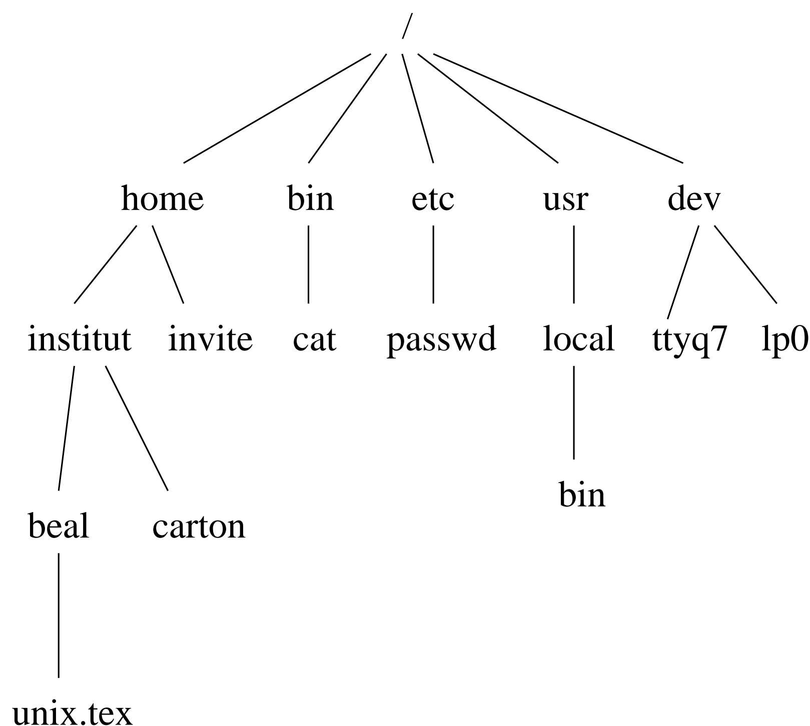
- Les principaux caractères de contrôle sont
  - `erase`, efface de dernier caractère, backspace ;
  - `kill`, efface la ligne, ctrl-u
  - `eof`, ferme un flux d'entrée en lecture, crtl-d
  - `newline`, valide une commande, crtl-j
  - `intr`, interruption, crtl-c
  - `quit`, interruption avec image mémoire, crtl-\

```
beal@localhost ~ $ sleep 1000
 --> frappe de crtl-c    ^C
beal@localhost ~ $
beal@localhost ~ $ stty intr w
beal@localhost ~ $ sleep 1000
 --> frappe de w          w
beal@localhost ~ $
```

Le système de fichiers

L'arbre des fichiers

- Un fichier sous Unix est non structuré.
- Une vision approchée du système de fichiers sous Unix est celle d'un arbre. On verra par la suite que ce n'est pas tout à fait vrai.
- Exemple d'arborescence.



- Tout nœud qui n'est pas une feuille de l'arbre est appelée *catalogue* (directory). Les feuilles sont soit des catalogues, soit des fichiers ordinaires, soit des fichiers spéciaux (désignant des périphériques).
- Cette structure permet de *référencer* un fichier ou un catalogue de plusieurs manières.

Références d'un fichier

– *Référence absolue* : Tout fichier ou catalogue peut être désigné par le chemin qui permet d'y accéder à partir de sa racine. Cette référence s'appelle référence absolue.

```
/home/institut/beal
/home/institut/beal/unix.tex
/dev/ttyq7
/
```

– *Référence relative* : A chaque instant, un utilisateur logé a un catalogue de travail. Il se situe virtuellement sur un nœud catalogue de l'arborescence. On connaît ce catalogue par la commande `pwd` (print working directory).

```
monge : ~/Recherche > pwd
monge : ~/Recherche > /home/institut/beal/Recherche
```

Tout fichier ou catalogue peut être référencé relativement à ce catalogue de travail. Une référence relative ne commence pas par le caractère `/`.

```
Article/Determinisation/det.tex
```

– *Les références* `.` *et* `..` : La référence `.` désigne le catalogue lui-même et la référence `..` désigne le catalogue père.

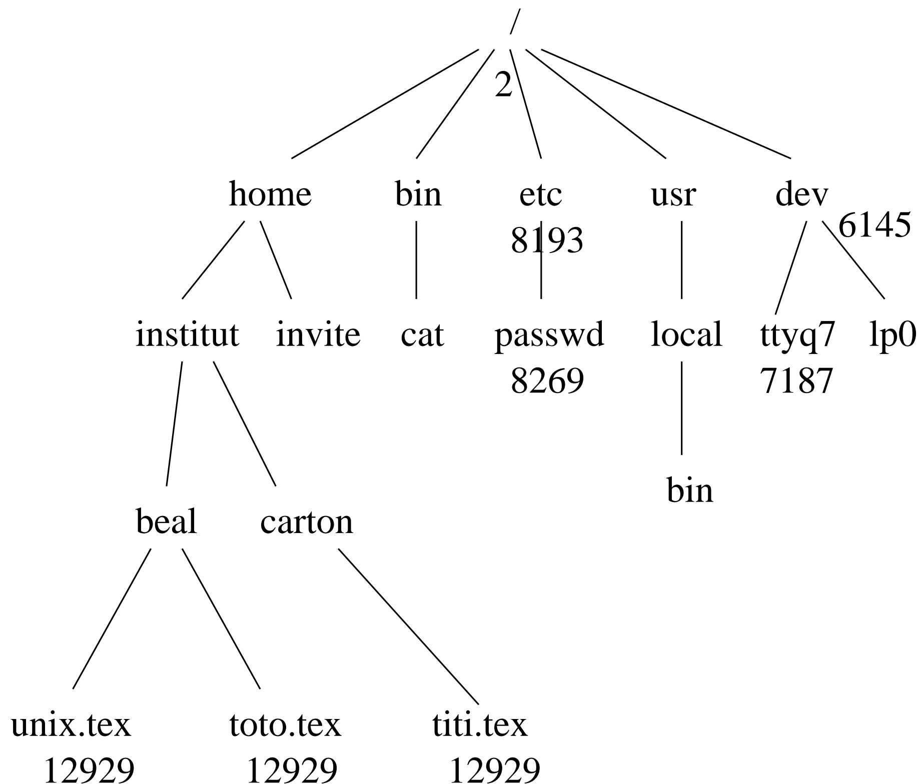
```
Article/Determinisation/det.tex
../Recherche/Article/Determinisation/det.tex
./Article/Determinisation/det.tex
../../beal/Recherche/Article/Determinisation/det.tex
```

– Chaque utilisateur se retrouve, après s'être logé, dans son catalogue privé.

```
/home/institut/beal
```

Le DAG[1] *des fichiers*

Nous allons donner une description plus précise de l'arborescence des fichiers.



A chaque fichier (ou catalogue) sur le disque est associé un *i-nœud*. C'est un bloc d'information écrit sur le disque qui contient les informations suivantes

– la taille du fichier ou catalogue,
– les adresses des blocs du disque ou est stocké le fichier ou le catalogue,
– l'identification du propriétaire et les droits d'accès,
– le type du fichier (catalogue, fichier ordinaire ou spécial),
– le nombre de liens du fichier, c'est-à-dire le nombre de fois ou il figure comme nom dans un catalogue.
– d'autres informations.

Le i-nœud ne contient pas de nom ou référence quelconque du fichier ou catalogue.

1. Directed Acyclic Graph

On peut alors préciser le contenu d'un catalogue. C'est une liste de couples `(numero de i-nœud,nom)`, où `nom` est un nom de fichier ou catalogue. Par exemple,

– le catalogue de référence absolue `/home/institut/beal` contient le couple

```
(12929,unix.tex)
```

– le catalogue de référence absolue `/home/institut/carton` contient le couple

```
(12929,titi.tex)
```

– A un fichier (ou catalogue) physique est associé un seul i-nœud et un seul numéro de i-nœud. Le numéro de i-nœud s'appelle l'index. Plusieurs couples peuvent avoir le même numéro et sont donc associés au même fichier (ou catalogue) physique. Chaque couple est appelé un *lien*.

– Le i-nœud d'index 12929 a un nombre de liens égal à 3. Les deux fichiers de référence absolue

```
/home/institut/beal/unix.tex
/home/institut/carton/titi.tex
```

sont donc les mêmes (un seul emplacement mémoire sur le disque).

– Combien y a t-il de liens sur le catalogue de référence absolue `/home/institut/beal` ?

Les fichiers spéciaux

A chaque ressource (terminal, imprimante, lecteur de disquette, disque logique, ...) est associé un fichier spécial. On le trouve dans le catalogue `/dev`. Sa taille est nulle. Les renseignements intéressants sont contenus dans le i-nœud. Il contient les informations suivantes

- propriétaire, groupe, droits d'accès,
- le *majeur* est un nombre entier qui indique la classe de ressource associée. Un terminal peut avoir pour majeur le nombre 3.
- le *mineur* est un nombre entier qui indique un exemplaire particulier de cette classe.
- le *mode* du fichier spécial, bloc ou caractère, qui indique le mode des lectures et écritures.

```
beal@localhost /dev $ tty
/dev/pts/1
beal@localhost /dev $ ls -s /dev/pts/1
0 /dev/pts/1
beal@localhost /dev $ ls -l /dev/pts/1
crw--w---- 1 beal tty 136, 1 Sep 15 14:28 /dev/pts/1
beal@localhost /dev $ mesg n
beal@localhost /dev $ ls -l /dev/pts/1
crw------- 1 beal tty 136, 1 Sep 15 14:29 /dev/pts/1
beal@localhost /dev $
```

Manipulations de base

On va voir les manipulations de base sur les fichiers qui comprennent les déplacements dans l'arborescence.

– La commande `cd` (change directory) permet de se déplacer dans l'arbre des fichiers.

```
monge : ~ > pwd
/home/institut/beal
monge : ~ > cd ..
monge : /home/institut > pwd
/home/institut/
monge : /home/institut >  cd iznogood
bash: iznogood: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
monge :  /home/institut >  cd
monge : ~ >              --> retour à la maison
monge : ~ > cd ./../../institut/beal/Recherche
monge : ~/Recherche >
```

– Les commandes `cat` et `more` permettent l'affichage d'un fichier texte. On sort de more par `q`.

```
monge : ~ > echo coucou coucou > toto
monge : ~ > ls -l toto
-rw-rw-r--   1 beal     beal           14 sep 12 12:28 toto
monge : ~ > cat toto
coucou coucou
monge : ~ >
```

– La commande `ls` a de nombreuses options que l'on peut voir par la commande `man` (taper `man ls`). Sans option, elle affiche la liste des fichiers et catalogues qui ne commencent pas par un point. L'option `-a` permet d'avoir la liste complète de ces fichiers qui sont en général des fichiers d'initialisation et de paramétrage. L'option `-i` permet d'avoir les index des i-nœuds.

```
monge : ~ >  ls -al
drwxr-xr-x   4 root   root     1024 avr 15  1999 ..
drwxr-xr-x   2 beal   beal     1024 sep 22  1999 .Emacs
-rw-------   1 beal   beal      115 sep 12 10:04 .Xauthority
-rw-r--r--   1 beal   beal     1147 avr 27  1999 .Xdefaults
-rw-------   1 beal   beal    13244 sep 12 10:05 .bash_history
-rw-r--r--   1 beal   beal       24 avr 12  1999 .bash_logout
-rw-r--r--   1 beal   beal      307 jun 19  1999 .bash_profile
drwxr-xr-x   7 beal   beal     1024 fév  4  2001 Enseignement
drwxr-xr-x   7 beal   beal     1024 sep 12  2000 Recherche
-rw-r-x---   1 beal   beal       14 sep 12 12:28 toto
monge : ~ >
```

– La commande Unix `find` permet de rechercher un fichier dans une sous-arborescence d'un catalogue (faire `man find`).

```
[beal@localhost Unix]$ ls Cat
toto1.c  toto2.c
[beal@localhost Unix]$ find Cat -name toto1.c -print
Cat/toto1.c
[beal@localhost Unix]$
```

Manipulations de base suite

– La copie physique d'un fichier se fait avec la commande `cp`. Ceci crée deux fichiers distincts, avec des i-nœuds distincts, dont le contenu est identique.
– La création d'un lien supplémentaire sur un fichier déjà existant se fait par la commande `ln`. Il n'y a pas création d'un nouvel i-nœud mais seulement d'un nouveau lien. Le nombre de liens est incrémenté dans le i-nœud du fichier correspondant. Plusieurs références désignent alors un même fichier.

```
monge : ~ >  ls -ld
drwx------  36 beal     beal         5120 sep 12 12:28 .
monge : ~ >  ls toto
toto
monge : ~ >  ln toto tutu
monge : ~ >   cat tutu
coucou coucou
monge : ~ >  ls -il toto tutu
 211163 -rw-rw-r--   2 beal    beal    14 sep 12 12:28 toto
 211163 -rw-rw-r--   2 beal    beal    14 sep 12 12:28 tutu
monge : ~ >  cp toto titi
monge : ~ >  ls -il toto tutu titi
211191 -rw-rw-r--   1 beal    beal    14 sep 12 13:00 titi
211163 -rw-rw-r--   2 beal    beal    14 sep 12 12:28 toto
211163 -rw-rw-r--   2 beal    beal    14 sep 12 12:28 tutu
```

– La commande `rm` (remove) permet de détruire un lien sur un fichier (et non pas forcément le fichier lui même).

```
monge : ~ > rm toto
rm: détruire ‘toto’? y                  --> alias sur rm -i
monge : ~ > cat toto
cat: toto: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
monge : ~ > cat tutu
coucou coucou
monge : ~ >  ls -il toto tutu titi
ls: toto: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
```

```
211191 -rw-rw-r--   1 beal   beal   14 sep 12 13:00 titi
211163 -rw-rw-r--   1 beal   beal   14 sep 12 12:28 tutu
```

– Un fichier est physiquement détruit lorsque son nombre de liens devient nul.
– La commande `mv` (move) permet de changer le nom d'un fichier dans un catalogue.

```
monge : ~ >  ls -il
211163 -rw-rw-r--   1 beal   beal   14 sep 12 12:28 tutu
monge : ~ >  mv tutu toutou
monge : ~ >  ls -il
211163 -rw-rw-r--   1 beal   beal   14 sep 12 12:28 toutou
```

– La création et suppression de catalogues se font par **`mkdir`** (make directory) et **`rmdir`** (remove directory).

```
monge : ~ >  mkdir Cat
monge : ~ >  mv toutou Cat/
monge : ~ >  cd Cat
monge : ~/Cat >  ls
toutou
monge : ~/Cat > cd
monge : ~ >  ls Cat
toutou                         ---> nouvelle action de ls
```

– Des caractères spéciaux du shell permettent de désigner un ensemble de fichier (voir plus loin).

```
monge : ~ > ls t*
titi toutou
 --> affiche la liste des fichiers (ou catalogues)
 --> commençant par t
```

Droits d'accès

- Les droits s'appliquent à trois catégories d'utilisateurs.
  - Le propriétaire du fichier (lettre `u` pour user)
  - Les membres du groupe du propriétaire (lettre `g` pour group)
  - Les autres utilisateurs (lettre `o` pour others)
  - Il existe un superutilisateur (root) qui a tous les droits.
- On distingue trois types de droits qui n'ont pas le même sens lorsqu'ils s'appliquent à un fichier ou à un catalogue.
  - Le droit en lecture (lettre `r` pour read) indique pour un fichier que l'on peut le lire, l'afficher, pour un catalogue que l'on peut lire la liste des fichiers ou catalogues qu'il contient.
  - Le droit en écriture (lettre `w` pour write) indique pour un fichier que l'on peut le modifier et pour un catalogue que l'on peut lui ajouter des fichiers ou supprimer les liens de fichiers dedans.
  - Le droit en exécution (lettre `x` pour exécute) indique pour un fichier qui est un programme exécutable que l'on est autorisé à l'exécuter. Pour un catalogue, le droit d'exécution indique que l'on peut se positionner sur lui et le traverser pour avoir accès à des fichiers qu'il contient.
- On peut changer les droits des fichiers ou catalogues dont on est propriétaire.

```
monge : ~/Cat > ls -l
total 1
-rw-rw-r--   1 beal  ens   14 sep 12 12:28 tutu
monge : ~/Cat > chmod u-r tutu
monge : ~/Cat > cat tutu
cat: tutu: Permission non accordée.
```

- On utilise souvent le code octal pour changer les droits (4 pour lecture, 2 pour écriture, 1 pour exécution).

```
monge : ~/Cat > chmod 750 tutu
monge : ~/Cat >  ls -l
total 1
```

```
-rwxr-x---   1 beal  ens   14 sep 12 12:28 tutu
```

Liens symboliques

Jusqu'à présent, on a considéré qu'il n'existait qu'un seul disque avec des index d'i-nœuds distincts. En fait, un système peut comprendre plusieurs disques, chacun pouvant être partitionné en plusieurs disques logiques. Chaque disque logique a sa propre table des i-nœuds.

Un disque est *monté* lorsqu'un catalogue de l'arbre des fichiers est en réalité le catalogue racine du disque logique. Ceci se fait de façon transparente pour l'utilisateur.

```
[beal@localhost beal]$ cat /etc/fstab
/dev/sda1  none            swap            sw              0 0
/dev/sda2  /  ext3  defaults  0 1
none        /proc     proc    defaults         0 0
none        /dev/shm  tmpfs   defaults c    defaults
[beal@localhost beal]$
```

Le premier champ indique le périphérique bloc ou système de fichier distant à monter. Le deuxième champ indique le point de montage.

- Il n'est pas possible de créer un lien sur un fichier ou catalogue appartenant à un disque logique différent.
- Un *lien symbolique* est un fichier `f1` qui contient la référence d'un autre fichier `f2`. Toute opération sur `f1` se fait alors sur `f2`.

```
[beal@localhost beal]$ ls -l f1
-rw-rw-r--   1 beal     beal           14 sep 12 15:37 f1
[beal@localhost beal]$ ln -s f1 f2
  --> création du lien symbolique
[beal@localhost beal]$ ls -l f1 f2
-rw-rw-r--   1 beal     beal           14 sep 12 15:37 f1
lrwxrwxrwx   1 beal     beal            2 sep 12 15:37 f2 -> f1
[beal@localhost beal]$ cat f1
coucou coucou
[beal@localhost beal]$ cat f2
coucou coucou
[beal@localhost beal]$ mv f1 toto
[beal@localhost beal]$ cat f2
cat: f2: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
[beal@localhost beal]$ ls -l f2 toto
lrwxrwxrwx   1 beal     beal            2 sep 12 15:42 f2 -> f1
-rw-rw-r--   1 beal     beal           14 sep 12 15:37 toto
[beal@localhost beal]$
```

Les éditeurs

L'éditeur vi

Pour lancer l'éditeur vi, on peut lancer
- `vi`,
- `vi toto`,
- `vi + toto`. Dans ce cas on se place à la fin du fichier `toto`.

L'éditeur vi a deux modes :
- le mode *commande*, dans lequel on est au moment de l'appel.
- le mode *insertion*, qui permet d'insérer directement dans le *tampon* ce qui est frappé au clavier.

Le passage du mode commande au mode insertion se fait par la frappe des caractères suivants
- `a`, `A` (insertion après le curseur, insertion en fin de ligne),
- `i`, `I` (insertion avant le curseur, insertion en début de ligne),
- `o` (insertion à la ligne suivante),
- `O` (insertion à la ligne précédente),

Le passage du mode commande au mode insertion se fait par la frappe du caractère `Esc`.

En mode insertion, on peut effacer ce qu'on vient d'écrire par le caractère backspace et on peut insérer un caractère spécial par `ctrl-v`. Par exemple, pour insérer le caractère `ctrl-a`, on frappe `ctrl-v ctrl-a` et on voit dans le tampon `^A`.

Dans le mode commande, on distingue deux moyens pour demander l'exécution d'une action. La plupart des commandes de recherche, remplacement, sauvegarde, se font en tapant d'abord `:`. Le curseur se positionne alors automatiquement au bas de l'écran et on peut taper une ligne de commande validée par un retour chariot. Il s'agit alors en fait de commandes de l'éditeur ligne `ed`.

- Quelques commandes de déplacement du curseur
  - `h,j,k,l`. On peut aussi utiliser les flèches.
  - `$` place le curseur en fin de ligne.
  - `G` place le curseur en fin de fichier.
  - `^F` : retour à la page précédente.
  - `^B` : avance à la page suivante.
- Quelques commandes d'effacement et de remplacement
  - `x` efface le caractère courant.
  - `dw` efface le mot courant.
  - `dd` efface la ligne courante.
  - `5dd` efface 5 lignes.
- Quelques commandes de l'édition en ligne
  - `:$` va à la fin du fichier.
  - `:r toto` ajoute le contenu du fichier `toto` après le curseur.
  - `:w` sauvegarde du tampon dans le fichier (`toto` si on a lancé `vi toto`).
  - `:w titi` sauvegarde du tampon dans le fichier `titi`.
  - `:wq` sauvegarde et sortie de vi.
  - `:q!` sortie de vi sans sauvergarde.

- Quelques commandes de recherche de motifs
  - `:/coucou` recherche la prochaine occurrence de `coucou`.
  - `:1,10s/coucou/doudou/g` remplace toutes les occurrences de `coucou` par `doudou` dans les lignes 1 à 10.
  - `:1,$s/coucou/doudou/g` remplace toutes les occurrences de `coucou` par `doudou` dans toutes les lignes.

L'éditeur Emacs

L'éditeur emacs est beaucoup plus puissant que vi. Il est aussi beaucoup plus gourmand en mémoire. La différence de modes (insertion, commande) disparaît. Les caractères frappées sont pour la plupart directement insérés dans le tampon. On peut aussi en particulier positionner le curseur à un endroit quelconque du texte en cliquant sur le bouton gauche de la souris.

Beaucoup de commandes sont accessibles par des menus et les menus sont configurables dans un fichier `.emacs` qui comprend des commandes en lisp.

Pour lancer l'éditeur emacs, on peut lancer

– `emacs`,
– `emacs toto`,
– `emacs + toto`. Dans ce cas on se place à la fin du fichier `toto`.

emacs@monge.univ-mlv.fr

Buffers Files Tools Edit Search Index LaTeX Command Help

```
\usepackage[dvips]{graphicx}
\oddsidemargin  0pt
\evensidemargin 0pt
\textwidth      16true cm
\textheight     24true cm
\topmargin      -30pt
\parindent = 0pt
\parskip=\smallskipamount
\setlength{\fboxsep}{4mm}
\newcounter{entree}
\newcommand{\entree}{\addtocounter{entree}{1}\thee\
ntree}

\sloppy
\def\titre#1{\newpage
\begin{center}
\shabox{{\color{red}#1}}
\end{center}
\bigskip\bigskip\bigskip}
%
\newif\ifdater\datertrue
-:**  toutunix.tex        (LaTeX Fill)--L19--C24--17%
  \item \texttt{emacs + toto}. Dans ce cas on se p\
lace à la fin du fichier \texttt{toto}.
\end{itemize}


\begin{itemize}
  \item le mode \emph{commande}, dans lequel on es\
t au moment de l'appel.
  \item le mode \emph{insertion}, qui permet d'ins\
érer directement dans le
\emph{buffer} ce qui est frappé au clavier.
\end{itemize}

\begin{center}
\scalebox{0.9}{\includegraphics{grab.ps}}
\end{center}

\begin{listing}\begin{verbatim}

\end{verbatim}\end{listing}
-:--  unix0.tex           (LaTeX Fill Iso)--L829--C13
Auto-saving...done
```

Pour décrire les commandes de emacs, on note
– `C-p` au lieu de `ctrl-p` (rappel : la touche `ctrl` et `p` sont frappées en même temps).
– `M-p` au lieu de `alt-p`.

Certaines commandes s'obtiennent par une combinaison de touches qui provoquent l'ouverture d'un mini tampon au bas de la page. La commande est alors complétée dans le mini tampon. Ainsi

```
C-x i
```

Affiche un mini tampon avec

```
Insert file: /mnt/monge/sda1/institut/beal/Unix/
```

On indiquera ci-dessous de façon raccourcie

```
C-x i toto
```

La frappe de `C-g` permet d'annuler une commande en cours.

Quelques commandes de base
– `C-x C-s` sauvegarde du tampon.
– `C-x C-c` sortie de emacs.
– `C-x C-f toto` ouverture du fichier toto.
– `C-h` de l'aide
– `C-h t` tutorial.
– `C-x 2` sépare le tampon en deux.
– `C-x 1` remets une seul tampon.
– `C-s coucou` recherche la prochaine occurence du mot coucou. La recherche est incrémentale. Elle commence dès la frappe des premières lettres de `coucou`.
– `C-s C-s` répétition de la recherche.
– `M-% coucou doudou` recherche-remplacement des occurrences de `coucou` par `doudou`.
– `C-x g` annule la commande en cours

Nous renvoyons à la liste des commandes distribuée pour les autres commandes.

Il est possible de sélectionner une portion de texte à la souris et d'effacer la zone par un double clic sur le bouton de droite.

Compression et archivages

– Il existe plusieurs commandes de compression et décompression possibles. Elles correspondent à des algorithmes différents.

```
gzip toto
monge : ~/Unix > gzip toto
monge : ~/Unix > ls tot*
toto.gz              --> compression effectuee
monge : ~/Unix > gunzip toto
monge : ~/Unix >     --> pour decompresser
```

Les commandes **gzip** et **gunzip** sont les mêmes.

```
monge : ~/Unix > ls -il /bin/gunzip    /bin/gzip
30756 -rwxr-xr-x    3 root   48368  /bin/gunzip
30756 -rwxr-xr-x    3 root   48368  /bin/gzip
monge : ~/Unix >
```

– L'archivage peut se faire au moyen de la commande `tar`. L'archive est en général ensuite compressée. Ci-dessous le nom de l'archive du catalogue `Cat` est `titi.tar`.

```
monge : ~ > tar cvf titi.tar Cat
Cat/
Cat/toto
Cat/tutu
monge : ~ > tar xvf titi.tar
Cat/
Cat/toto
Cat/tutu
monge : ~ >
```

La communication

Il est possible d'envoyer des messages électroniques, des fichiers, de se connecter et de travailler sur des sites distants, etc ... par le protocole IP.

– Une adresse IP d'une machine peut avoir deux formes.
  – Une forme littérale (`monge.univ-mlv.fr`)
  – Une forme numérique (`193.55.63.80`)
– La commande **`nslookup`** permet d'obtenir ces adresses.

```
[beal@localhost Unix]$ nslookup monge.univ-mlv.fr
Server:  pixel.univ-mlv.fr
Address:  193.55.46.10

Name:    monge.univ-mlv.fr
Address:  193.55.63.80

[beal@localhost Unix]$ nslookup igm.univ-mlv.fr
Server:  pixel.univ-mlv.fr
Address:  193.55.46.10

Name:    gaspard.univ-mlv.fr
Address:  193.55.63.81
Aliases:  igm.univ-mlv.fr

[beal@localhost Unix]$ nslookup lix.polytechnique.fr
Server:  pixel.univ-mlv.fr
Address:  193.55.46.10

Non-authoritative answer:
Name:    lix.polytechnique.fr
Address:  129.104.11.2
```

– La commande **`ping`** permet de voir si une machine est en vie (ou du moins si elle répond).

```
[beal@localhost Unix]$ ping monge
PING monge (193.55.63.80): 56 data bytes
64 bytes from 193.55.63.80: icmp_seq=1 ttl=251 time=280.0 ms
```

```
64 bytes from 193.55.63.80: icmp_seq=2 ttl=251 time=230.0 ms
64 bytes from 193.55.63.80: icmp_seq=3 ttl=251 time=210.0 ms
--- monge ping statistics ---
7 packets transmitted, 6 packets received, 14% packet loss
round-trip min/avg/max = 210.0/226.6/280.0 ms
```

- Les adresses numériques se composent de quatre nombre compris entre 0 et 255 séparés par des points. Plusieurs adresses IP sont regroupées en un réseau IP. Tous les ordinateurs d'un tel réseau ont des adresses IP avec une partie commune. Cette partie commune initiale référencie le réseau alors que l'autre partie référencie la machine.
- Une adresse d'un utilisateur est le nom de login suivant de `@` et de l'adresse de la machine.
  - `beal@monge.univ-mlv.fr`
  - `Marie-Pierre.Beal@univ-mlv.fr`
- Pour envoyer un courrier électronique, la commande de base est la commande `mail`. On peut aussi utiliser d'autres commandes (`elm`). On recommande le navigateur netscape qu'il faut configurer avant la première utilisation.

```
[beal@localhost]$ cat lettre
coucou
[beal@localhost]$ mail -s ‘‘bonjour’’ carton@univ-mlv.fr < lettre
    --> envoie à carton le contenu du fichier lettre

[beal@localhost]$ mail carton@univ-mlv.fr
subject : bonjour
coucou
.
 --> on peut aussi terminer par ctrl-d
cc : beal
```

Les processus

Processus et programme

Un processus est l'exécution d'un programme.

Il s'agit donc d'une notion dynamique contrairement à celle de programme qui est statique. Un programme est une suite de caractères dans un fichier qui doit représenter une suite d'instructions. Un processus est créé à un certain moment. A un moment donné il meurt, soit lorsque le programme qu'il exécute se termine soit lorsqu'il est interrompu lors de la réception d'un signal par exemple.

Il existe des systèmes d'exploitation mono processus. Unix autorise l'exécution concurrente de plusieurs processus.

Le processus de numéro zéro est l'ordonnanceur (sceduler). À intervalles de temps réguliers (millièmes de seconde), il alloue le processeur à tel ou tel processus. Divers algorithmes de choix sont possibles. Le processus de numéro 1 (init) associe à chaque terminal un processus `getty` qui sera le père du shell créé lors de la connexion au terminal.

La commande ps

- Elle donne la liste des processus de l'utilisateur qui sont en cours d'exécution attaché au terminal.
  - L'option `a` donne la liste des processus de tous les utilisateurs.
  - L'option `l` donne des informations complètes avec, entre autre, le numéro des processus et le numéro de leur père.
  - L'option `x` affiche les processus sans terminal d'attachement.
  - L'option `t` donne les processus attaché à un terminal donné
  - L'option `-u` donne les processus de l'utilisateur donné attachés à tous les terminaux.

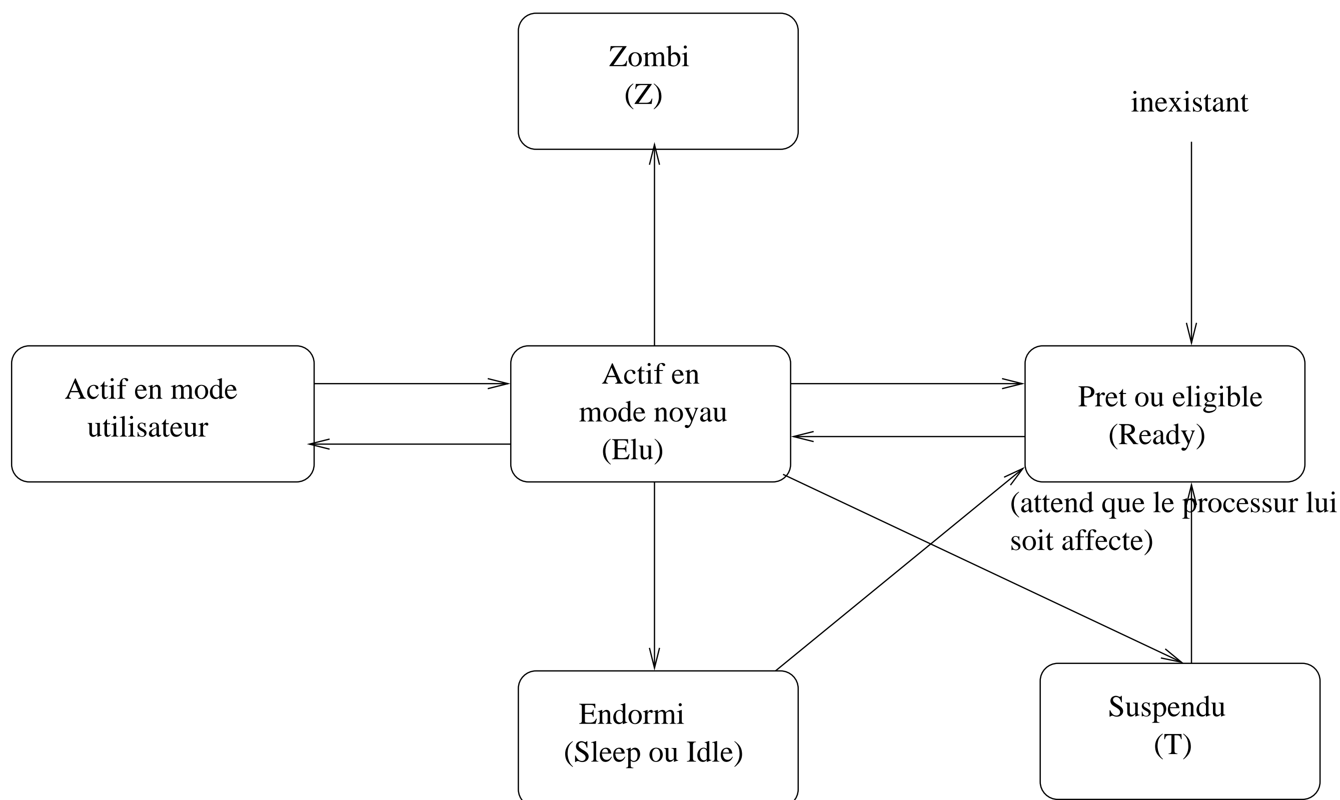
– La commande `top` donne la liste de tous les processus avec mise à jour régulière.

```
[beal@localhost beal]$ ps
  PID TTY STAT TIME COMMAND
  608  p1 S    0:00 bash
  690  p2 S    0:00 bash
  923  p3 S    0:00 bash
 2143  p3 S    0:11 emacs toutunix.tex toutunixNB.tex unix0.tex
 2181  p4 S    0:00 xdvi.bin -name xdvi toutunix.dvi
 2190  p4 S    0:00 gs -sDEVICE=x11 -dNOPAUSE -q -dDEVICEWIDTH=623 -
 2407  p2 R    0:00 ps
[beal@localhost beal]$ tty
/dev/ttyp2
[beal@localhost beal]$ ps tttyp2
  PID TTY STAT TIME COMMAND
  690  p2 S    0:00 bash
 2421  p2 R    0:00 ps tttyp2
[beal@localhost beal]$ ps l
PID  PPID PRI  NI   SIZE   RSS WCHAN       STA TTY TIME COMMAND
 608   605   0   0   1280   832 read_chan   S   p1  0:00 bash
 690   689  15   0   1384   924 wait4       S   p2  0:00 bash
2424   690  16   0    952   492             R   p2  0:00 ps l
 923   922   0   0   1332   900 read_chan   S   p3  0:00 bash
2143   923   1   0   7452  6236 do_select   S   p3  0:11 emacs unix0
2181  2143   0   0   3776  2836 do_select   S   p4  0:00 xdvi.bin
2190  2181   0   0   3776  2336 pipe_read   S   p4  0:00 gs -sDEVICE
[beal@localhost beal]$
```

– Un processus déjà existant peut donner naissance à un autre processus par un apple système `fork`.
– Tout processus, sauf le processus zéro, est créé par un appel à `fork` à partir de son père.

Les différents états d'un processus

A chaque instant, un processus est dans un certain état.



Commandes internes et commandes externes

Les shells ont des commandes internes et des commandes externes.

– *commande interne* : c'est une commande dont le code est une partie du code de l'interpréteur (`cd`, `pwd`). Le shell courant exécute directement cette commande.
– *commande externe* : c'est une commande dont le code est contenu dans une fichier binaire placé par exemple dans le catalogue `/bin` ou `/usr/local/bin` (`cat`, `date`, ...). Lorsqu'une telle commande est lancée, le shell crée un processus qui exécute cette commande. Il se mets en sommeil en en attendant la terminaison.
– un *script shell* est une fichier écrit en langage shell. On peut l'exécuter et le shell courant lance alors un processus shell qui interprète ce fichier.

```
[beal@localhost beal]$ cat f1
date
[beal@localhost beal]$ f1
mer sep 12 17:06:54 CEST 2001
[beal@localhost beal]$ cat f2
ps ltp2
date
[beal@localhost beal]$ f2
 PID  PPID PRI  NI   SIZE   RSS WCHAN      STA TTY TIME COMMAND
 690   689  10   0   1384   928 wait4      S   p2  0:00 bash
2483   690  10   0   1384   928 wait4      S   p2  0:00 bash
2484  2483  11   0    952   492            R   p2  0:00 ps ltp2
mer sep 12 17:11:28 CEST 2001
[beal@localhost beal]$  ps ltp2
 PID  PPID PRI  NI   SIZE   RSS WCHAN      STA TTY TIME COMMAND
 690   689  10   0   1384   928 wait4      S   p2  0:00 bash
2488   690  11   0    952   492            R   p2  0:00 ps ltp2
```

Redirection

Les processus communiquent avec l'extérieur par l'intermédiaire de trois fichiers dits *fichiers standards*

– le fichier *entrée standard*,
– le fichier *sortie standard*,
– le fichier *sortie erreur standard*.

Par défaut, ces trois fichiers sont associés au clavier (pour l'entrée standard) et à l'écran (pour les sorties standards).

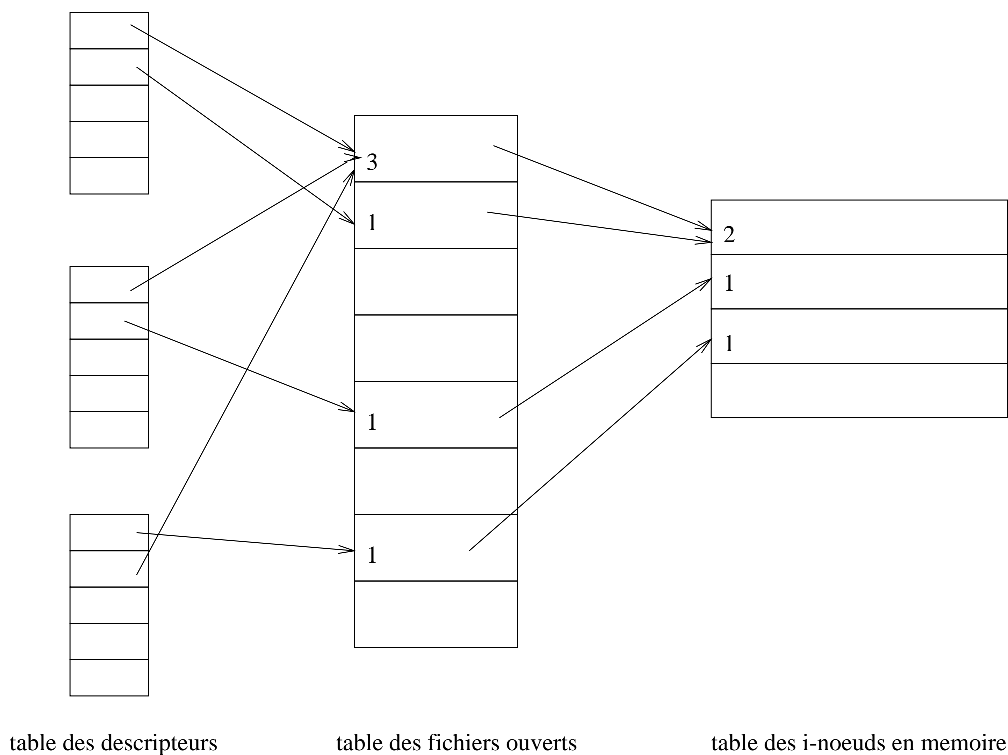
On peut rediriger les entrée/sorties standard d'un processus. Cette opération consiste à leur un indiquer un fichier autre que le terminal.

```
[beal@localhost beal]$ date > tutu  --> sortie standard redirigée
[beal@localhost beal]$ cat tutu
mer sep 12 17:30:06 CEST 2001
[beal@localhost beal]$ date >> tutu    --> idem sans ecrasement
[beal@localhost beal]$ cat tutu
mer sep 12 17:35:00 CEST 2001
mer sep 12 17:35:02 CEST 2001
[beal@localhost beal]$ wc -w < tutu
      12                         --> entrée standard redirigée
[beal@localhost beal]$  ls tata
ls: tata: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
[beal@localhost beal]$ ls tata 2> tutu
                         --> sortie erreur standard redirigée
[beal@localhost beal]$ cat tutu
ls: tata: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
[beal@localhost beal]$ ls tutu tata &> tonton
                         --> les deux sorties en même temps.
[beal@localhost beal]$ cat tonton
ls: tata: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
tutu
```

Descripteurs de fichiers

On remarque que sur l'exemple précédent le fichier erreur standard a été désigné par un numéro appelé *descripteur*.

- De façon générale chaque fichier manipulé par un processus Unix est identifié localement dans celui-ci par un descripteur.
- Ce descripteur est un indice dans une table qui est propre à chaque processus.
- Un processus fils hérite à sa naissance d'une copie de la table du père.
- L'entrée standard a comme descripteur 0.
- La sortie standard a comme descripteur 1.
- La sortie erreur standard a comme descripteur 2.
- Une entrée dans la table des descripteurs comprend un pointeur sur une entrée de la table des fichiers ouverts. Chaque entrée de la table des fichiers ouverts comprend elle-même une entrée sur la table des i-nœuds en mémoire.



Enchaînement de processus

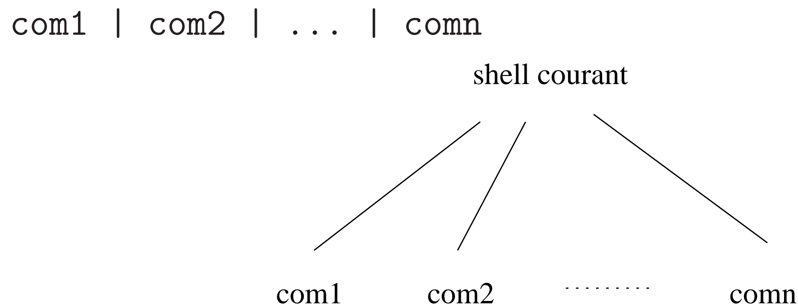
– Il est possible de lancer plusieurs commandes sur une même ligne qui vont s'exécuter séquentiellement
– Il est possible de lancer plusieurs commandes sur une même ligne qui vont s'exécuter *de façon concurrente ou simultanée* en communiquant entre elles par l'intermédiaire d'une zone mémoire appelée tube (pipe). Par le pipe, la sortie standard d'un processus devient l'entrée standard d'un autre.

```
[beal@localhost beal]$ date; who; ps tp2
mer sep 12 18:14:12 CEST 2001
beal        ttyp1    Sep 12 10:05 (:0.0)
carton      ttyp2    Sep 12 10:06 (:0.0)
beal        ttyp3    Sep 12 10:09 (:0.0)
  PID TTY STAT TIME COMMAND
  690  p2 S    0:00 bash
 2757  p2 R    0:00 ps tp2
[beal@localhost beal]$
[beal@localhost beal]$ cat tutu
mer sep 12 17:35:00 CEST 2001
mer sep 12 17:35:02 CEST 2001
[beal@localhost beal]$ cat tutu | wc
      2      12      60
[beal@localhost beal]$
```

Tubes et arbres des processus

– Sous Linux, l'arborescence des processus lors de communications par tube est la suivante.

```
com1 | com2 | ... | comn
```




```
test@niznogood1:~$ sleep 20 | sleep 30 | ps l
 PID  PPID PRI  NI   VSZ  RSS WCHAN  STAT TTY     TIME COMMAND
4763  4761  10   0  2672 1448 wait4  S    pts/1  0:00 -bash
4767  4763   9   0  1848  664 nanosl S    pts/1  0:00 sleep 20
4768  4763  10   0  1848  664 nanosl S    pts/1  0:00 sleep 30
4769  4763  13   0  3000 1124 -      R    pts/1  0:00 ps l
test@niznogood1:~$
```

– Sous Unix System V, l'arborescence est différente.

Lancement de commandes en arrière plan

– Il est possible de lancer une commande en arrière plan, sans que le shell courant en attende la terminaison.
– L'intérêt est de pouvoir continuer à travailler au clavier sans attendre la fin de l'exécution de la commande.

```
[beal@localhost beal]$ xterm &   --> ouverture d'une fenêtre
[1] 3013
[beal@localhost beal]$
```

Les jobs

– Certains shells permettent une gestion aisée des processus créés depuis ces shells. C'est le mécanisme dit de *job control*.
– Il permet aux utilisateurs de ne voir que les processus qu'ils ont lancés sous le shell interactif dans lequel ils travaillent et qui constitue les cadre d'une session de travail.
– Chaque commande correspond à un *job* ou une *tâche*. Du point de vue interne, il peut s'agir d'un groupe de processus.
– Toute tâche est identifiée de façon interne au shell par un petit nombre.
– La gestion se fait ainsi sans solliciter le noyau (`ps` est une commande gourmande). Il est plus aisé de manipuler de petit nombres que des grands (pour les numéros de processus).

Exemple en shell bash.

```
[beal@localhost Unix]$ cat boucle
while :
do :
done
[beal@localhost Unix]$ boucle
                             --> boucle indéfiniment
                             --> interruption (voir plus loin)
[beal@localhost Unix]$ boucle &
[2] 3036
[beal@localhost Unix]$ boucle | boucle &
[3] 3039
```

```
[beal@localhost Unix]$ jobs -l
[1]   2937 Running                 emacs unix0.tex &
[2]-  3036 Running                 boucle &
[3]+  3038 Running                 boucle
      3039                       | boucle &
[beal@localhost Unix]$  fg %2
boucle                       --> envoie de ctrl-c
[beal@localhost Unix]$ jobs -l
[1]-  2937 Running                 emacs unix0.tex &
[3]+  3038 Running                 boucle
      3039                       | boucle &
[beal@localhost Unix]$ kill %3
[beal@localhost Unix]$ jobs -l
[1]-  2937 Running                 emacs unix0.tex &
[3]+  3038 Terminated              boucle
      3039                       | boucle
[beal@localhost Unix]$
```

Les signaux

- Un processus peut recevoir un signal venant d'un autre processus ou du clavier.
- Le signal reçu est enregistré dans une table contenue dans le bloc de contrôle du processus.
- L'action associée au signal se fait au moment du passage du mode actif en mode noyau au mode actif en mode utilisateur.
- Certains processus ignorent certains signaux. Un processus lancé en arrière plan, un shell, vi ignore les signaux 2 et 3.
  - signal 2, interruption, intr, ctrl-c
  - signal 3, arrêt, quit, ctrl-\
- On peut voir la liste des signaux et leur numéro dans le fichier `/usr/include/asm/signal.h`.

```
#define SIGHUP           1
#define SIGINT           2
#define SIGQUIT          3
#define SIGILL           4
#define SIGTRAP          5
#define SIGABRT          6
#define SIGIOT           6
#define SIGBUS           7
#define SIGFPE           8
#define SIGKILL          9
#define SIGUSR1         10
```

- La commande **`kill`** permet de lancer un signal donné à un processus donné.

```
[beal@localhost Unix]$$ kill -1 $$
       --> $$ est le numéro du shell courant
       --> tue le shell courant et la fenêtre se referme
```

```
beal@localhost Unix]$ ps
  PID TTY STAT TIME COMMAND
  608  p1 S    0:00 bash
  690  p2 S    0:00 bash
 3240  p2 S    0:02 emacs toutunix.tex unix0.tex
```

```
 3242  p2 R    0:00 ps
[beal@localhost Unix]$ kill -9 3240    --> tue de manière forte
[1]+  Killed                  emacs *unix*.tex
[beal@localhost Unix]$ kill -l
 1) SIGHUP       2) SIGINT       3) SIGQUIT      4) SIGILL
 5) SIGTRAP      6) SIGIOT       7) SIGBUS       8) SIGFPE
 9) SIGKILL     10) SIGUSR1     11) SIGSEGV     12) SIGUSR2
13) SIGPIPE     14) SIGALRM     15) SIGTERM     17) SIGCHLD
18) SIGCONT     19) SIGSTOP     20) SIGTSTP     21) SIGTTIN
22) SIGTTOU     23) SIGURG      24) SIGXCPU     25) SIGXFSZ
26) SIGVTALRM   27) SIGPROF     28) SIGWINCH    29) SIGIO
30) SIGPWR
[beal@localhost Unix]$
```

– La commande `trap` ordonne au processus courant d'exécuter la commande s'il reçoit le signal indiqué. Les signaux ignorés lors de l'invocation du shell ne peuvent pas être capturés ni reprendre leurs comportements par défaut. Lors de la création d'un processus fils, les signaux capturés reprennent leur comportement par défaut.

```
[beal@localhost Unix]$ ls toto
toto
[beal@localhost Unix]$ trap 'rm toto' 1
[beal@localhost Unix]$ kill -1 $$
rm: détruire `toto'? y
[beal@localhost Unix]$ trap 'date' 1
[beal@localhost Unix]$ kill -1 $$
ven sep 28 12:23:40 CEST 2001
[beal@localhost Unix]$ trap '' 1
[beal@localhost Unix]$ kill -1 $$
[beal@localhost Unix]$ trap 1
 --> retour du comportement par défaut.
```

Les langages Shell

Il existe différents dialectes de langages Shell.
- Bourne Shell,
- C-Shell, (csh, tcsh,...)
- Bash (Bourne Again SHell),
- Korn Shell.

Ils interprètent une ligne de commande
- en préparant les arguments (expansion des caractères d'abréviation),
- en effectuant des substitutions de variables,
- en exécutant la commande.

Quelques manipulations de variables en Shell

– Le shell permet de définir et manipuler des variables. Nous décrivons ici la syntaxe du Bourne Shell, Bash et Kornshell.

```
[beal@localhost Cat]$ ls
toto1.c  toto2.c
[beal@localhost Cat]$ ls *1.*
toto1.c
[beal@localhost Cat]$ a = coucou
bash: a: command not found  --> attention aux blancs
[beal@localhost Cat]$ a=coucou
[beal@localhost Cat]$ echo $a
coucou
```

– Certaines variables sont prédéfinies, comme les variables `HOME`, `PATH`, `PS1`, `PS2`.

```
[beal@localhost beal]$ echo $HOME
/home/beal
[beal@localhost beal]$ echo $PATH
/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/usr/X11R6/bin:/home/beal/bin:.
  --> catalogues dans lesquels sont recherchées les commandes
  --> remarquer que la liste contient le catalogue '.'
[beal@localhost beal]$ echo $PS1
[\u@\h \W]\$
[beal@localhost beal]$ echo $PS2
>
[beal@localhost beal]$ PS1=XXX
XXXecho $HOME
/home/beal
XXX
```

Propriétés des langages de commande

– Présence de commandes internes et externes. On rappelle que le code d'une commande interne fait partie du code de l'interpréteur. Par exemple `cd, pwd, trap, echo` sont des commandes internes. Ces commandes sont exécutées par le processus shell lui-même. Les commandes externes sont recherchées dans une liste de catalogues prédéfinis (voir la variable `PATH`). Ces commandes sont exécutées par un sous processus.

```
[beal@localhost beal]$ which cal
/usr/bin/cal
[beal@localhost beal]$
```

– On peut écrire des commandes complexes grâce à des structures de contrôle.

```
[beal@localhost beal]$ for i in 1 2 3; do echo coucou; done
coucou
coucou
coucou
[beal@localhost beal]$
```

– On peut écrire des fichiers de commandes appelés scripts shell.

```
[beal@localhost beal]$cat ecritcoucou
echo coucou
[beal@localhost beal]$ecritcoucou
bash: ./ecritcoucou: Permission non accordée.
[beal@localhost beal]$chmod 755 ecritcoucou
[beal@localhost beal]$ecritcoucou
coucou
```

```
[beal@localhost beal]$cat comps
ps f
[beal@localhost beal]$chmod 755 comps
[beal@localhost beal]$comps
  PID TTY STAT TIME COMMAND
  688  p2 S    0:00 bash
  749  p2 S    0:13  \_ emacs toutunix.tex
  800  p3 S    0:00  |   \_ xdvi.bin -name xdvi toutunix.dvi
  908  p2 S    0:00  \_ bash
  909  p2 R    0:00      \_ ps f
[beal@localhost beal]$
 ---> on remarque qu'un nouveau shell a été créé
      pour interpréter comps
[beal@localhost beal]$
```

Caractères spéciaux du shell

- `*` remplace toute chaîne de caractères permettant de compléter un nom de fichier du catalogue courant sauf une chaîne commençant par le caractère `.`.

```
[beal@localhost beal]$ ls .*
  --> indiquer ce qui se passe
[beal@localhost beal]$
```

- `?` remplace un caractère quelconque à l'exception du `.` en début de chaîne.
- `[0-9]`, `[a-z]`, `[a-zA-Z]`, désigne un caractère quelconque des intervalles entre les crochets.
- caractères spéciaux liés au lancement d'une commande `;`,`>>`,`2>`,`<`,`>`,`&`,`|`,`()`,`{`,`}`,`~`.
- caractère d'évaluation d'une variable : `$`, début d'une ligne de commentaire : `#`.
- pour déspécialiser un caractère : `\`

```
[beal@localhost beal]$ echo $0
bash
[beal@localhost beal]$ echo \$0
$0
[beal@localhost beal]$
```

- Certaines chaînes sont entourées de caractères de quotation et reçoivent un traitement particulier.
  - `'abc'` les variables sont non évaluées, les caractères spéciaux sont despécialisés.
  - `''abc''` les variables sont évaluées, les caractères spéciaux sont despécialisés.
  - `` `abc` `` donne le résultat d'une commande.

Les variables du shell

Elles permettent de programmer en shell tout comme les variables de n'importe quel langage de programmation. Certaines variables sont prédéfinies et contiennent des informations sur l'environnement du shell.

Une variable en shell a un nom et une valeur.

- Le nom est une chaîne de caractères quelconque commençant par une lettre et composée de lettres, chiffres ou du caractère `_`.
- La valeur est une chaîne de caractères quelconque.
- La définition se faut par `nom=valeur`.
- La valeur est donnée par `$nom` ou `${nom}`.
- Si `nom` n'est pas une variable, la valeur de `$nom` est la chaîne de caractères vide.

```
[beal@localhost beal]$ var=coucou
[beal@localhost beal]$ echo "$var > titi"
coucou > titi
[beal@localhost beal]$ echo '$var > titi'
$var > titi
[beal@localhost beal]$ echo `date`
sam sep 22 16:03:20 CEST 2001
[beal@localhost beal]$ x=beal
[beal@localhost beal]$ xy=mpb
[beal@localhost beal]$ echo $xy
mpb
[beal@localhost beal]$ echo ${x}y
bealy
[beal@localhost beal]$ unset x
[beal@localhost beal]$ echo $x

[beal@localhost beal]$
```

La commande interne read

On peut affecter à une ou plusieurs variables des valeurs lues sur l'entrée au moyen de la commande `read`. A la dernière variable est affectée toute la fin de la ligne.

```
[beal@localhost beal]$ read nom adresse
beal paris palerme santiago
[beal@localhost beal]$ echo $nom
beal
[beal@localhost beal]$ echo $adresse
paris palerme santiago
[beal@localhost beal]$
```

Variables prédéfinies

Certaines variables d'environnement sont prédéfinies. On peut les modifier ou en définir d'autres dans les fichiers `.profile` ou `.bash_profile` qui sont exécutés au login. Le fichier `.bashrc` est exécuté à chaque lancement d'un shell bash. Ces variables ont souvent un nom en majuscules.

– Exemple de fichier /etc/bashrc

```
# /etc/bashrc

# System wide functions and aliases
# Environment stuff goes in /etc/profile

# For some unknown reason bash refuses to inherit
# PS1 in some circumstances that I can't figure out.
# Putting PS1 here ensures that it gets loaded every time.
PS1="[\u@\h \W]\\$ "

alias which="type -path"
```

– Exemple de fichier .bashrc

```
# .bashrc
# User specific aliases and functions

# Source global definitions
```

```
if [ -f /etc/bashrc ]; then
        . /etc/bashrc
fi

alias ls='ls --color=auto'
alias rm='rm -i'
alias mv='mv -i'
alias cp='cp -i'
```

– Exemple de fichier .bash_profile

```
# .bash_profile

# Get the aliases and functions
if [ -f ~/.bashrc ]; then
        . ~/.bashrc
fi

# User specific environment and startup programs

PATH=$PATH:$HOME/bin:.
BASH_ENV=$HOME/.bashrc
# j'ai rajoute le browser :
BROWSER=/usr/bin/netscape-communicator

export USERNAME BASH_ENV PATH BROWSER
```

– Le mécanisme d'alias (commandes `alias, unalias`).

```
[beal@localhost Unix]$ alias ddd=date
[beal@localhost Unix]$ ddd
sam sep 22 16:45:36 CEST 2001
[beal@localhost Unix]$ sh
bash$ ddd
sh: ddd: command not found
bash$ exit
exit        ---> on sort du shell empilé
[beal@localhost Unix]$ ddd
sam sep 22 16:47:25 CEST 2001
[beal@localhost Unix]$ unalias ddd
[beal@localhost Unix]$ ddd
```

```
bash: ddd: command not found
[beal@localhost Unix]$ alias
alias cp='cp -i'
alias ls='ls --color=auto'
alias mv='mv -i'
alias rm='rm -i'
alias which='type -path'
[beal@localhost Unix]$
```

Les commandes set et unset

- La commande `set` permet d'obtenir la liste des variables d'environnement et leur valeur.
- La commande `unset` permet de supprimer une variable d'environnement.
- La commande `env` permet d'obtenir la liste des variables d'environnement qui sont exportables, ainsi que leurs valeurs.
- Lorsqu'un nouveau processus est créé par l'appel à fork, il hérite des variables de l'environnement exportables et de leurs valeurs. On rend une variable exportable, c'est-à-dire visible lors d'empilements de shells, par la commande `export`.

```
[beal@localhost Unix]$ nom=beal
[beal@localhost Unix]$ export nom
[beal@localhost Unix]$ env
BROWSER=/usr/bin/netscape-communicator
HISTSIZE=1000
HOSTNAME=localhost.localdomain
LOGNAME=beal
HISTFILESIZE=1000
TERM=xterm
HOSTTYPE=i386
PATH=/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/usr/X11R6/bin:/home/beal/bin:.
HOME=/home/beal
SHELL=/bin/bash
USER=beal
nom=beal
```

```
BASH_ENV=/home/beal/.bashrc
DISPLAY=:0.0
OSTYPE=Linux
```

– Quelques exemples de manipulation de variables

```
[beal@localhost beal]$ PS1='$ '
$ date
sam sep 22 17:02:03 CEST 2001
$ bash
[beal@localhost beal]$ --> expliquer pourquoi on a ici
                           ce prompt (voir man bash)

[beal@localhost Unix]$ a=coucou
[beal@localhost Unix]$ export a
[beal@localhost Unix]$ bash
[beal@localhost Unix]$ echo $a
coucou
[beal@localhost Unix]$ a=couic
[beal@localhost Unix]$ echo $a
couic
[beal@localhost Unix]$ exit
exit    --> on sort du shell empilé
[beal@localhost Unix]$ echo $a
coucou

[beal@localhost Unix]$ b=`pwd`
[beal@localhost Unix]$ echo $b
/home/beal/Unix
[beal@localhost Unix]$
```

Exécution d'un fichier de commandes

Considérons le petit fichier de commandes suivant

```
[beal@localhost Unix]$ cat com1
a=coucou
echo $a
[beal@localhost Unix]$
```

Il existe différentes méthodes pour l'exécuter.

- `bash com1`

```
[beal@localhost Unix]$ bash com1
coucou
[beal@localhost Unix]$
```

- `. com1` (ou `source com1`) redirige l'entrée standard sur `com1`.

```
[beal@localhost Unix]$ . com1
coucou
[beal@localhost Unix]$
```

- `com1`, le shell crée un nouveau processus qui lit les commandes de com1.

```
beal@localhost Unix]$ chmod 500 com1
[beal@localhost Unix]$ com1
coucou
[beal@localhost Unix]$
```

- `exec com1`. Le shell courant est recouvert par un shell qui lit le fichier `com1` et meurt ensuite. Le fichier `com1` doit être accessible en lecture est exécution.

```
[beal@localhost Unix]$ exec com1
--> la fenêtre xterm se referme
```

Variables maintenues par le shell

Les variables d'environnement sont des variables qui sont en général fixes. Le shell maintient aussi à jour certaines variables qui sont utiles pour la programmation.

- `$` a pour valeur le numéro du processus shell en cours.
- `!` a pour valeur le numéro du dernier processus lancé en arrière plan.
- `?` a pour valeur le code de retour de la dernière commande exécutée (0 pour normal, différent de 0 sinon).

```
[beal@localhost Unix]$ sleep 100 &
[1] 1008
[beal@localhost Unix]$ ps
  PID TTY STAT TIME COMMAND
  943  p5 S    0:00 bash
 1008  p5 S    0:00 sleep 100
 1009  p5 R    0:00 ps
[beal@localhost Unix]$ echo $$
943
[beal@localhost Unix]$ echo $!
1008
[beal@localhost Unix]$ ls titi
ls: titi: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
[beal@localhost Unix]$ echo $?
1
[beal@localhost Unix]$
```

Variables de position et paramètres

Tout processus shell maintient une liste de chaînes de caractères que l'on peut connaître par la valeur des variables `*,#,1,2,3,...`

- `#` donne le nombre de chaînes présente dans la liste.
- `i` donne la ième chaîne de la liste.
- `*` donne la liste.
- `0` donne la variable de numéro 0.
  - Si c'est un login shell ou un shell utilisateur, `0` a pour valeur le nom du shell et `*` est la chaîne vide.
  - Si c'est un shell qui exécute une commande, `0` a pour valeur le nom de cette commande et `*` est la liste des arguments de la commande.

```
[beal@localhost Unix]$ cat com2
echo "commande : $0"
echo "nombre d'arguments : $#"
echo "liste des arguments : $*"
echo "2eme argument : $2"
[beal@localhost Unix]$ com2 paris palerme santiago
commande : ./com2
nombre d'arguments : 3
liste des arguments : paris palerme santiago
2eme argument : palerme
[beal@localhost Unix]$
```

On peut affecter une valeur à la liste des variables de position par `set`.

```
[beal@localhost Unix]$ set world trade center
[beal@localhost Unix]$ echo $3
center
```

Exemple de fichier de commande

On écrit un script shell qui permet d'échanger le contenu de deux fichiers passés en argument. On utilise un fichier temporaire pris dans le catalogue /tmp.

```
#!/bin/bash
#echange le contenu de deux fichiers
ln $1 /tmp/echange$$
ln -f $2 $1
ln -f /tmp/echange$$ $2
rm  /tmp/echange$$
```

```
[beal@localhost Unix]$ echo escort > ford
[beal@localhost Unix]$ echo 307 > peugeot
[beal@localhost Unix]$ echange ford peugeot
[beal@localhost Unix]$ cat ford peugeot
307
escort
```

Structures de contrôle

En shell, on ne peut tester que le code de retour d'une commande.

- A la terminaison d'une commande externe, le code de retour du processus fils est affecté par le shell à la variable de nom `?`.
- Cette variable est également positionnée à la terminaison d'une commande interne (0 $\rightarrow$ vrai, différent de 0 $\rightarrow$ faux).
- Pour une commande composée, c'est le code de retour de la dernière commande qui est transmis.

```
[beal@localhost Unix]$ ls toto
ls: toto: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
[beal@localhost Unix]$ echo $?
1
[beal@localhost Unix]$ if (who | grep "^beal")  > /dev/null
> then write beal < peugeot
> else mail beal < peugeot
> fi
write: beal is logged in more than once; writing to ttyp2
--> ecrit escort sur une autre fenêtre
[beal@localhost Unix]$
```

La commande test

Il s'agit d'une commande externe qui teste si une expression est vraie ou fausse. Si l'expression est vraie, le code de retour de la commande est 0, sinon le code de retour est différent de 0.

- Usage : `test expression` ou `[ expression ]`
- Tests sur les chaînes de caractères :
  - `test -z chaine`, vrai si la chaine est nulle.
  - `test -n chaine`, vrai si la chaine est non nulle.
  - `test chaine1 = chaine2`, vrai si chaine1 est égale à chaine2.
  - `test chaine1 >= chaine2`, vrai si chaine1 est supérieure ou égale à chaine2 pour l'ordre lexicographique.

```
[beal@localhost Unix]$ if test `pwd` = $HOME
> then echo a la maison
> else echo pas a la maison
> fi
pas a la maison
[beal@localhost Unix]$ if [ `pwd` = $HOME ]
> then echo a la maison
> else echo pas a la maison
> fi
>
pas a la maison
[beal@localhost Unix]$
```

- Tests sur les chaînes numériques entières : une chaîne numérique entière est une suite de chiffres précédée éventuellement de $-$ ou $+$.
  - `test chaine1 -eq chaine2`, vrai si la valeur numérique correspondant à la chaîne1 est égale à la valeur numérique correspondant à la chaîne2. Autres opérateurs `-eq, -ne, -lt -le, -gt, -ge`.

```
[beal@localhost Unix]$ ls toto
```

```
ls: toto: Aucun fichier ou répertoire de ce type.
[beal@localhost Unix]$ if test $? -eq 0
> then echo toto existe
> else echo toto n\'existe pas
> fi
toto n'existe pas
[beal@localhost Unix]$
```

- Tests sur les fichiers
  - `test -f reference`, vrai si la référence est un fichier ordinaire. Autres tests `-p, -d, -c, -b`.
- Tests sur les droits d'accès
  - `test -r reference`, teste le droit en lecture. Autres tests `-x, -w`.
- Tests sur la taille d'un fichier
  - `test -s reference`, vrai si la référence est un fichier de taille non nulle.
- Tests de rattachement d'un descripteur à un terminal
  - `test -t n`, vrai si le descripteur n est attaché à un terminal.
- Opération sur les expressions
  - `test -f toto -a -r toto` ou `test \(-f toto -a -r toto \)` pour le et.
  - Autres opérations (ou , et, non) `-o, -a, !`.

```
beal@localhost Unix]$ if [ ! -d /tmp/tmp1/tmp2 ]
> then mkdir -p /tmp/tmp1/tmp2
> fi
```

Conditionnelle if

Usage :

```
if commande1
then commande2
else commande3
fi
```

Si `if`, `then`, `else` ne sont pas écrits en début de ligne, ils doivent être précédés de `;`.

– Dans l'exemple ci-dessous, on écrit un script shell qui prend en argument une référence, l'affiche par `cat` si c'est un fichier ordinaire et par `ls` si c'est un catalogue.

```
[beal@localhost Unix]$ cat affiche
if [ $# -ne 1 ]
then echo syntaxe : $0 nom de fichier ; exit 1
fi
if test -f $1
then cat $1
else if test -d $1
     then ls $1
     else echo $1 est un fichier special
     echo ou n\'existe pas
     fi
fi
[beal@localhost Unix]$ affiche affiche
--> Que se passe-t-il ici ?
```

Conditionnelle case

Usage :

```
case chaine in
motif1) commande1;;
motif2) commande2;;
...
esac
```

– Exemple d'écriture d'une commande de compilation qui appelle "le bon" compilateur.

```
case $# in
0) echo -n fichier à compléter
   read reference
   set $reference
   ;;
esac
case $1 in
*.java) javac $1 ;;
*.c)    gcc $1 ;;
*)      echo compilation de $1 impossible ;;
esac
```

Itération bornée

Usage :

```
for variable in chaine1 chaine2 ...
do commande
done
```

```
[beal@localhost Cat]$ for i in * ; do echo $i ; done
toto1.c
toto2.c
[beal@localhost Cat]$ for i in * ; do wc -c $i; done
      7 toto1.c
      7 toto2.c
[beal@localhost Cat]$
```

Autres itérations

```
[beal@localhost Unix]$ cat com2
question='repondre oui ou non'
echo $question
read reponse
while [ "$reponse" != oui  -a  "$reponse" != non ]
do echo $question
read reponse
done
[beal@localhost Unix]$ com2
repondre oui ou non
yes
repondre oui ou non
oui
[beal@localhost Unix]$ while :; do echo coucou; done
coucou
coucou
coucou
coucou
--> boucle infinie interrompue par ctrl-c.
```

Les filtres

Un filtre est une commande qui lit l'entrée standard et écrit les données lues et éventuellement modifiées sur la sortie standard.

– Les commandes **head** et **tail** permettent de selectionner une portion de texte.

```
[beal@localhost Unix]$ cat wtc
world
trade
tour1
tour2
center
[beal@localhost Unix]$ head -4 < wtc | tail +3
tour1
tour2
[beal@localhost Unix]$
```

– La commande **tr** permet de remplacer un caractère par un autre.

```
[beal@localhost Unix]$ tr [a-z] [A-Z] < wtc
WORLD
TRADE
TOUR1
TOUR2
CENTER
[beal@localhost Unix]$
```

– Le filtre **sed** reçoit en entrée chaque ligne d'un fichier, lui fait subir un traitement (des substitutions par exemple) et envoie la ligne modifiée sur la sortie standard.

– Exemple simple d'utilisation de **sed**.

```
[beal@localhost Cat]$ cat toto
coucou coucou
couic couic
[beal@localhost Cat]$ sed s/co/do/ < toto > titi
[beal@localhost Cat]$ cat titi
doucou coucou
douic couic
[beal@localhost Cat]$ sed s/co/do/g < toto > titi
```

```
[beal@localhost Cat]$ cat titi
doudou doudou
douic douic
[beal@localhost Cat]$ sed '2,$s/co/do/g' < toto > titi
[beal@localhost Cat]$ cat titi
coucou coucou
douic douic
--> les transformations sont effectuées à partir
--> de la deuxième ligne. Remarquer les quotations
--> car $ est un caractère spécial du shell.
[beal@localhost Cat]$
```

- Pour une utilisation plus élaborée, on peut former des expressions régulières de sed.
  - `.` désigne tout caractère excepté newline.
  - `*` signifie une répétition du caractère précédent un nombre arbitraire (éventuellement nul) de fois.
  - `[abc]` désigne un caractère quelconque `a`,`b` ou `c`.
  - `^` placé en début d'une expression indique que celle-ci doit être recherchée en début de ligne.
  - `$` placé en fin d'expression indique que celle-ci doit être recherchée en fin de ligne.
  - `\` déspécialise le caractère qui suit (comme en shell).
- Un exemple plus élaboré (et quelque peu illisible). On désire écrire une commande filtre `com` qui ne conserve que les deuxièmes colonnes de l'entrée standard.

```
beal@localhost Unix]$ who
beal     ttyp1    Sep 23 15:31 (:0.0)
beal     ttyp3    Sep 23 15:46 (:0.0)
beal     ttyp4    Sep 23 17:01 (:0.0)
[beal@localhost Unix]$ beal@localhost Unix]$ cat com
#!/bin/bash
# filtre qui garde les deuxièmes colonnes du texte
```

```
sed 's/^\([^ ]*[ ]*\)\([^ ]*\)\(.*\)/\2/'
         |    |
          ----
           |
   (tout sauf un blanc)*

[beal@localhost Unix]$ who | com
ttyp1
ttyp3
ttyp4
[beal@localhost Unix]$
```

Exercice Écrire une commande `com.sh` qui contient un script shell prenant deux arguments et transforme tous les fichiers du répertoire courant suffixés par le premier argument en des fichiers suffixés par le deuxième argument.

```
[beal@localhost Unix]$ ls
toto tutu.h titi.h
[beal@localhost Unix]$ com.sh h c
[beal@localhost Unix]$ ls
toto tutu.c titi.c
```

2

Le langage C

1. Compilation, exécution d'un programme
2. Types de base
3. Itérations
4. Fonctions, passage de paramètres
5. Tableaux. Chaînes de caractères
6. Types structurés

Un exemple étonnant

Que fait le programme suivant ?

```
long a = 10000, b, c = 8400, d, e, f[8401], g;

int main(void) {
for (; b-c;) f[b++] = a/5;
for (; d = 0,g = c * 2;c -= 14,printf("%.4ld", e+d/a),e =d % a)
for (b = c; d += f[b] * a, f[b] = d%--g, d /= g--, --b; d *= b);
return 0;
}
```

Réponse

```
3141592653589793238462643383279502884197169399375105820974944592
2148086513282306647093844609550582231725359408128481117450284102
8810975665933446128475648233786783165271201909145648566923460348
7006606315588174881520920962829254091715364367892590360011330530
0365759591953092186117381932611793105118548074462379962749567351
2440656643086021394946395224737190702179860943702770539217176293
5263560827785771342757789609173637178721468440901224953430146549
9021960864034418159813629774771309960518707211349999998372978049
8302642522308253344685035261931188171010003137838752886587533208
8731159562863882353787593751957781857780532171226806613001927876
3278865936153381827968230301952035301852968995773622599413891249
0829533116861727855889075098381754637464939319255060400927701671
0181942955596198946767837449448255379774726847104047534646208046
2056966024058038150193511253382430035587640247496473263914199272
9924586315030286182974555706749838505494588586926995690927210797
5499119881834797753566369807426542527862551818417574672890977772
2350141441973568548161361157352552133475741849468438523323907394
9222184272550254256887671790494601653466804988627232791786085784
0064225125205117392984896084128488626945604241965285022210661186
6364371917287467764657573962413890865832645995813390478027590099
0522489407726719478268482601476990902640136394437455305068203496
1696461515709858387410597885959772975498930161753928468138268683
2524680845987273644695848653836736222626099124608051243884390451
```

Un exemple introductif

On veut calculer par un programme en C une table de conversion de Francs en Euro comme

```
10    1
20    3
30    4
40    6
50    7
60    9
70    10
80    12
90    13
100   15
```

On rappelle qu'un euro vaut 6,50 francs. La table ci-dessus est arrondie à l'euro inférieur.

Le programme

```
#include <stdio.h>

int main(void) {

/* ecrit la table de conversion
 Francs-Euro de 10 a 100 francs*/

  int euro, francs;
  int bas, haut, pas;

  bas = 10;
  haut = 100;
  pas = 10;
  francs = bas;
  while (francs <= haut) {
    euro = francs / 6.50;
    printf("%d\t%d\n",francs,euro);
    francs = francs + pas;
  }
  return 0;
}
```

Analyse

Les deux lignes

```
/* ecrit la table de conversion
 Francs-Euro de 10 a 100 francs*/
```

sont un *commentaire*. Ensuite

```
int euro, francs;
int bas, haut, pas;
```

sont des *déclarations*. Les variables sont déclarées de type entier (`int`). On a d'autres types en C comme `float` pour les nombres réels.

Les lignes suivantes

```
bas = 10;
haut = 100;
pas = 10;
francs = bas;
```

sont des *instructions d'affectation*. Une instruction se termine par ;

La boucle d'itération

Chaque ligne de la table se calcule de la même façon. On utilise donc une *itération* sous la forme :

```
while (francs <= haut) {
   ...
}
```

Signification : on teste d'abord la condition. Si elle est vraie, on execute le corps de la boucle (les instructions entre accolades). Ensuite on teste de nouveau la condition. Si elle est vraie on recommence, et ainsi de suite.

Si elle est fausse, on passe à la suite (ici à la fin).

La fonction printf

L'instruction

```
printf("%d\t%d\n",francs,euro);
```

est un appel de la fonction `printf`. Son premier argument donne le format d'affichage : Les `%d` sont des indications pour l'affichage des arguments suivants. Le `d` est là pour indiquer une valeur entière (en décimal). Si on avait écrit

```
printf("%3d %6d\n",francs, euro);
```

on aurait écrit sur un nombre fixe de caractères (3 et six) d'où le résultat justifié à droite :

```
 10      1
 20      3
 ...
 70     10
 80     12
 90     13
100     15
```

Et les centimes ?

```
#include <stdio.h>

int main(void) {

/* ecrit la table de conversion
 Francs-Euro de 10 a 100 francs*/

  float euro, francs, taux;
  int bas, haut, pas;

  bas = 10;
  haut = 100;
  pas = 10;
  francs = bas; taux = 1/6.5;
  while (francs <= haut) {
    euro = francs * taux;
    printf("%3.0f %6.2f\n",francs,euro);
    francs = francs + pas;
  }
 return 0;
}
```

Résultat

```
 10     1.54
 20     3.08
 30     4.62
 ...
```

Si on avait utilisé `taux = 1/6.5` avec taux déclaré entier, on aurait obtenu 0 (facheux).

Le format `%6.2f` signifie : nombre réel écrit sur six caractères avec deux décimales. Pour `%3.0`, c'est sans décimale ni point.

L'instruction for

Autre forme du programme :

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
  int fr;

  for (fr = 10; fr <= 100; fr = fr + 10)
    printf("%3d %6.2f\n", fr, fr/6.5);
  return 0;
}
```

L'initialisation

```
fr = 10
```

est faite d'abord. On teste ensuite la condition

```
fr <= 100
```

Si elle est vraie, on exécute le corps de la boucle. On exécute ensuite l'instruction d'incrémentation

```
fr = fr + 10;
```

On reteste la condition et ainsi de suite.

Constantes symboliques

On peut utiliser des définitions préliminaires pour définir des constantes.

```
#include <stdio.h>

#define BAS 10
#define HAUT 100
#define PAS 10

int main(void) {
  int fr;

  for (fr = BAS; fr <= HAUT; fr = fr + PAS)
    printf("%3d %6.2f\n", fr, fr/6.5);
  return 0;
}
```

Cours 2 : Le langage C

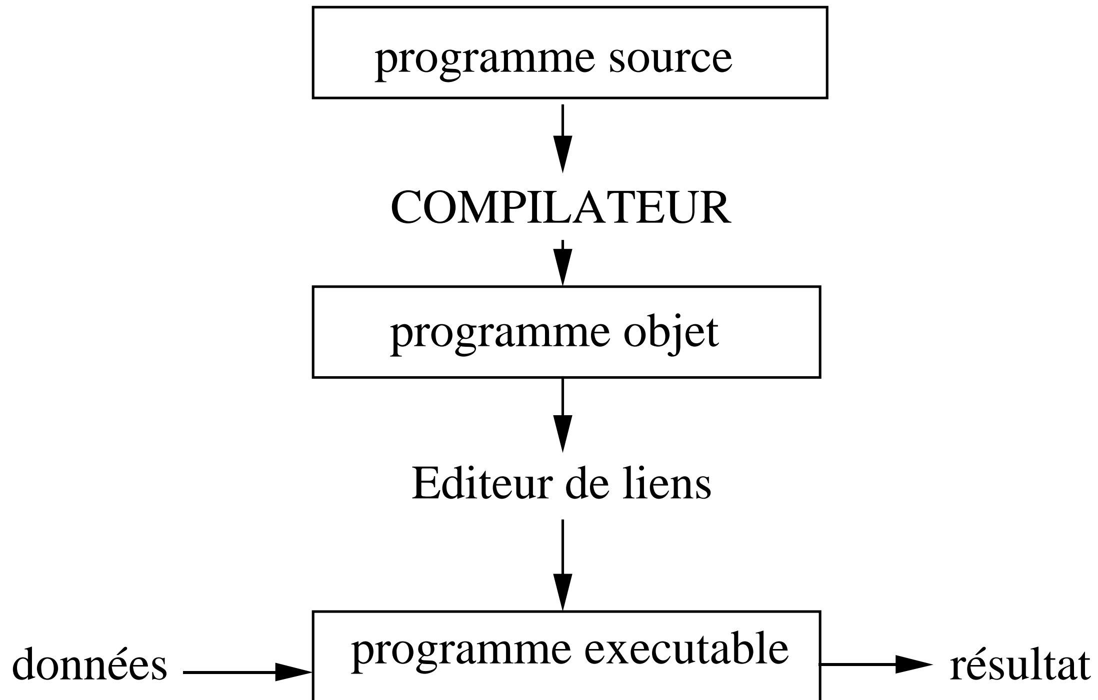
Le langage C a été crée en 1970 aux Bell Laboratories par Brian Kernighan et Denis Ritchie.

Il existe beaucoup d'autres langages de programmation.
– Fortran (surtout pour le calcul numérique)
– Pascal (ancien)
– Caml, Ocaml (langages fonctionnels)
– Pearl
– Java, C++, Python

Ce sont des langages de *haut niveau* par opposition au langage machine et à l'assembleur, dits de *bas niveau*.

Il existe par ailleurs un très grand nombre de langages *spécialisés* allant des langages de commande des imprimantes aux systèmes de calcul formel.

Exécution d'un programme



Exemple de programme en C

Affiche au terminal la chaîne de caractères *bonjour* et passe à la ligne.

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

int main(void) {
  printf("bonjour\n");
  return 0;
}
------------------------------
```

ou encore

```
#include <stdio.h>

void afficher(void){
 printf("bonjour\n");
}
int main(void) {
 afficher();
 return 0;
}
```

Deuxième exemple

Programme qui lit un entier et écrit son carré.

```
int main(void){
 int n,m;
 printf("donnez un nombre :");
 scanf("%d",&n);
 m=n*n;
 printf("voici son carre :");
 printf("%d\n",m);
 return 0;
}
```

Execution :

```
donnez un nombre : 13
voici son carre : 169
```

Structure d'un programme C

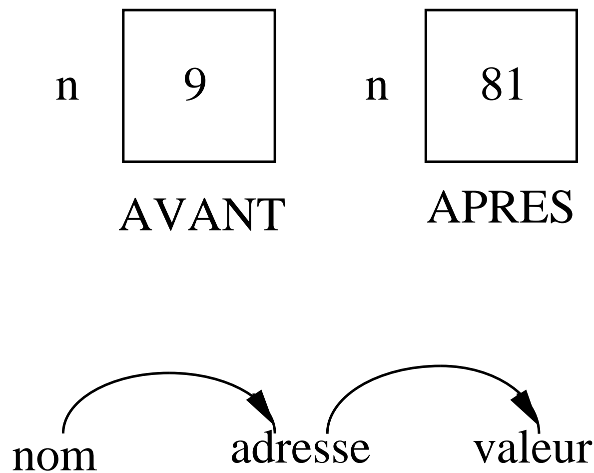
Un programme C est constitué de fonctions. Elles ont toutes la même structure.

Type retourné Nom(*Types et Noms des paramètres*)
{
déclarations
instructions
}

La fonction principale s'appelle **`main`**.

Les variables

Une *variable* en C est désignée par un nom qui est une chaîne de caractères (commençant par une lettre) appelée un *identificateur*. Une variable a une *adresse*, un *type* et une *valeur*.



La mémoire centrale

Les données sont rangées dans la mémoire sous forme de suites de *bits* égaux à 0 ou 1.

Les bits sont regroupés par groupe de 8 (un octet) puis, selon les machines, par *mots* de 16, 32 ou 64 bits.

Chaque mot porte un numéro : son *adresse* en mémoire.

On utilise les octets pour coder les caractères en utilisant le *code ASCII*. On aura par exemple pour la lettre A le code :

place	7	6	5	4	3	2	1	0
valeur	0	1	0	0	0	0	0	1

qui représente 65 en binaire.

Le premier bit est utilisé comme bit de parité en général (non standard). Sur les 7 autres, on peut coder $2^7 = 128$ caractères (pas beaucoup pour les accents !).

Les types

Chaque variable a un *type*. Elle est *déclarée* avec son type par :

```
int n;
```

Les types de base en C sont :

`char`	caractères
`int`	entiers
`float`	flottants
`double`	flottant double précision

Il existe aussi des types plus compliqués : les *tableaux* et les *structures*.

Les entiers

Le type entier (`int`) est représenté sur 16 ou 32 bits selon les machines (à tester dans `<limits.h>`).

Sur 16 bits, les valeurs vont de $-2^{15} = -32768$ à $2^{15} - 1 = 32767$.

Sur 32 bits, on a comme valeurs les entiers relatifs de -2^{31} à $2^{31} - 1$.

Les opérations sont $+, -, *, /$ (division entière par suppression de la partie fractionnaire) et % (reste de la division euclidienne).

Les réels

C'est le type **`float`** avec une représentation en *flottant* de la forme 1.25×10^{-4}. Ils sont représentés en général sur 32 bits avec six chiffres significatifs et une taille comprise entre 10^{-38} et 10^{+38}.

Les opérateurs sont $+, -, *, /$, ...

Il y a des *conversions* entre les divers types. Par exemple, si x est de type **`float`**, x+1 est de type float.

Il y aussi un type **`double`** pour les réels en double précision.

Les caractères

Le type `char` est représenté sur un seul octet. Ce sont les caractères représentés dans le code ASCII. C'est en fait un entier.

Les constantes de type `char` s'écrivent `'x'`.

Attention `'O'` vaut 79, pas 0. C'est `'\0'` qui vaut zéro.

Certains caractères s'écrivent de façon particulière, comme `'\n'` (newline).

On forme avec des caractères des chaînes comme

```
"bonjour\n"
```

Les expressions

On construit une expression en utilisant des variables et des constantes puis des opérateurs choisis parmi
– les opérateurs arithmétiques : $+, -, *, /, ...$
– Les comparateurs : $>, >=, ==, ! =, \ldots$
– Les opérateurs logiques : && (et), || (ou)
Elle peut être de type char, int ou float.

Exemple : si i, j sont entiers et x réel alors :

$i - j$ est entier

$2 * x$ est réel

'2'<'A' est entier (la valeur 'vrai' est représentée par l'entier 1)

Expressions logiques

Les valeurs logiques 'vrai' et 'faux' sont représentées en C par les entiers 1 et 0 (en fait toute valeur non nulle est interprétée comme vrai).

Les opérateurs logiques sont `&&` (et), `||` (ou) et `!` (non) avec les *tables de vérité* :

ou	0	1
0	0	1
1	1	1

et	0	1
0	0	0
1	0	1

Le C pratique l'évaluation *paresseuse* : si C est vraie, alors `C || D` est vraie, même si D n'est pas définie.

De même, si C est fausse, `C && D` est fausse.

Exemple

Conversion des températures des Fahrenheit aux Celsius. La formule est

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

```
int main(void)
{
 float F, C;

 printf("Donnez une temperature
 en  Fahrenheit : ");
 scanf("%f",&F);
 C = (F - 32) * 5 / 9;
 printf("Valeur en  Celsius : %3.1f\n",C);
 return 0;
}
```

Exécution :

```
donnez une temperature en Fahrenheit :   100
valeur en Celsius : 37.8
```

Les déclarations

On peut regrouper des déclarations et des instructions en un bloc de la forme

{
liste de déclarations
liste d'instructions
}

Les déclarations sont de la forme *type nom ;* comme dans

```
int x;
```

ou *type nom=valeur ;* comme dans

```
int x=0;
```

qui initialise x à la valeur 0.

L'affectation

C'est le mécanisme de base de la programmation. Elle permet de changer la *valeur* des variables.

```
x = e;
```

affecte à la variable `x` la valeur de l'expression `e`. Attention : A gauche de =, on doit pouvoir calculer une adresse (on dit que l'expression est une *l-valeur*).

Exemples

```
i = i+1;
```

augmente de 1 la valeur de i. Aussi réalisé par l'instruction `i++;`

```
temp = i; i = j; j = temp;
```

échange les valeurs de i et j.

Instructions conditionnelles

Elles ont la forme :

if (*test*)
  instruction

(forme incomplète)

ou aussi :

if (*test*)
  instruction
else
  instruction

(forme complète)

Le test est une expression de type entier comme `a<b` construite en général avec les comparateurs `<, ==, !=, ...` et les opérateurs logiques `&&, ||, ...`

Exemple

Calcul du minimum de deux valeurs a et b :

```
if (a < b){
  min = a;
} else {
  min = b;
}
```

Forme abrégée :

```
min = (a<b)? a : b;
```

Minimum de trois valeurs :

```
if (a < b && a < c)
    min =  a;
  else if (b < c)
    min = b;
  else
    min = c;
```

Branchements plus riches

Si on a un choix avec plusieurs cas, on peut utiliser une instruction d'aiguillage.

Par exemple, pour écrire un chiffre en lettres :

```
switch (x){
  case 0: printf("zero"); break;
  case 1: printf("un"); break;
  case 2: printf("deux"); break;
  ...
  case 9: printf("neuf"); break;
  default: printf("erreur");
}
```

Cours 3 : Les itérations

1. Les trois formes possibles
2. Traduction
3. Itération et récurrence
4. Ecriture en binaire

Les trois formes possibles

Elles ont l'une des trois formes suivantes :

1. boucle **pour**.
2. boucle **tant que** faire.
3. boucle faire **tant que**.

Boucle pour

`for` (*initialisation*; *test*; *incrémentation*) {
liste d'instructions
}

comme dans :

```
for (i = 1;  i<=n; i++) {
  x = x+1;
}
```

L'exécution consiste à itérer
initialisation
(test, liste d'instructions, incrémentation)
(test, liste d'instructions, incrémentation)
....
On peut aussi mettre une liste d'instructions à la place de incrémentation.

Boucle tant que

`while` (*test*) {
liste d'instructions
}
comme dans :

```
while (i <= n) {
 i = i+1;
}
```

Si $i \leq n$ avant l'exécution, on a après $i = n + 1$. Sinon, i garde sa valeur.

L'autre boucle tant que

C'est la boucle 'faire tant que'.

`do` {
liste d'instructions
} `while` (*test*) ;

comme dans :

```
do {
 i = i+1;
} while (i <= n);
```

Si $i \leq n$ avant, on a après $i = n + 1$. Sinon, i augmente de 1.

Exemples de boucle pour

Calcul de la somme des n premiers entiers :

```
s = 0;
for (i = 1; i<= n; i++) s = s+i;
```

Après l'exécution de cette instruction, `s` vaut :

$$1 + 2 + \ldots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

Calcul de la somme des n premiers carrés :

```
s = 0;
for (i = 1; i<= n; i++) s = s+i*i;
```

Après l'execution de cette instruction, `s` vaut :

$$1 + 4 + 9 + \ldots + n^2$$

(au fait, ça fait combien ?)

Exemple de boucle tant que

Calcul de la première puissance de 2 excédant un nombre N :

```
p = 1;
while (p < N) {
  p = 2*p;
}
```

Résultats :

Pour N=100 on a p=128

Pour N=200 on a p=256

...

Test de primalité

Voici un exemple de boucle ‘do while’ : le test de primalité d’un nombre entier.

```
int main(void){
 int d, n, r;
  printf("donnez un entier: ");
  scanf("%d", &n);
  d = 1;
  do {
   d = d+1;
   r = n % d;
  } while (r >= 1 &&  d*d <= n);
  if ((r==0) && (n > 2))
        printf("nombre divisible par %d\n",d);
   else
        printf("nombre premier\n");
  return 0;
}
```

Traduction des itérations

L'instruction

```
while (i <= n) {
instruction
}
```

se traduit en assembleur par :

```
1: IF i > n  GOTO 2
   instruction
   GOTO 1
2:
```

De même l'itération

`for` (i = 1 ; i<= n ; i++) {

instruction

}

est traduite par :

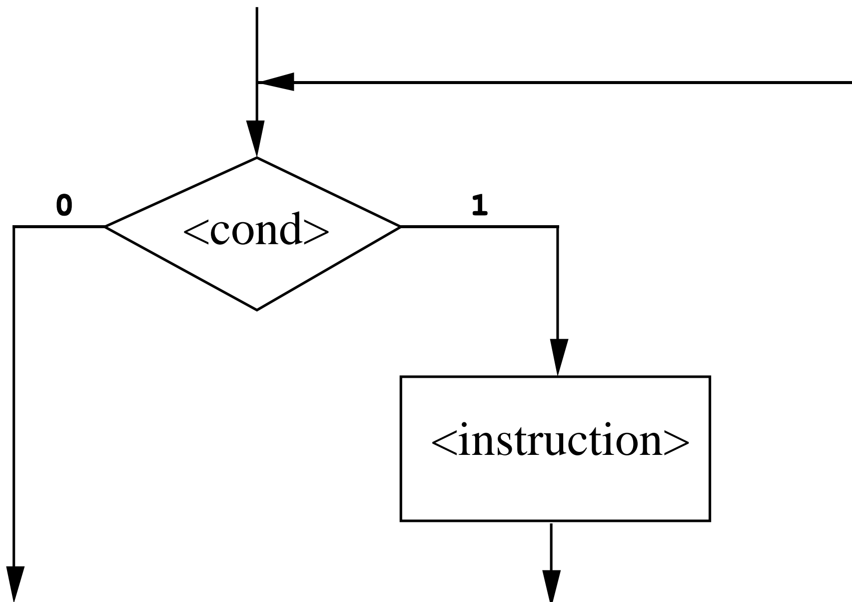
```
   i = 1
1: if i > n GOTO 2
```

instruction

```
  i = i+1
  GOTO 1
2:
```

Organigrammes

On peut aussi traduire en schémas appelés *organigrammes* ou *chartes*.



Temps de calcul

Les itérations permettent d'écrire des programmes qui tournent longtemps. Parfois trop !

Le programme

```
int main(){
 while (1);
 return 0;
}
```

ne s'arrête jamais.

Itération et récurrence

Les programmes itératifs sont liés à la notion mathématique de *récurrence*.

Par exemple la suite de nombre définie par récurrence par $f_0 = f_1 = 1$ et pour $n \geq 2$ par

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$$

s'appelle la suite de Fibonacci :

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \ldots$$

Elle peut être calculée par le programme suivant (qui affiche les 20 premières valeurs) :

```
int main(void){
 int i,u,v,w;

  u = 1; v = 1;
  for (i= 1; i<= 20; i++) {
     w = u+v;
     printf("%d ",w);
     u = v; v = w;
  }
 return 0;
}
```

Résultat :

2	3	5	8	13	21	34
55	89	144	233	377	610	987
1597	2584	4181	6765	10946	17711	

Invariants de boucles

Pour *raisonner* sur un programme comportant des itérations, on raisonne par récurrence.

On utilise une propriété vraie à chaque passage dans la boucle, appelée *invariant de boucle*. Par exemple, dans le programme précédent, la propriété :

$$P(i) : \; u = f_{i-1}, v = f_i$$

est un invariant de boucle : elle est vraie à chaque fois qu'on entre dans la boucle.

Pour le démontrer, on doit

1. vérifier qu'elle est vraie à la première entrée (et donc pour $i = 1$).
2. Que si elle est vraie à un passage (pour i), elle est vraie au suivant (pour $i + 1$).

Un autre exemple : La fonction factorielle

Le programme suivant

```
int main(void) {

 int i, n, fact;

  scanf("%d",&n);
  fact=1;
  for (i=2; i<= n; i++)
   fact = fact * i;
  printf("n!=%d\n",fact);
  return 0;
}
```

calcule

$$n! = 1 \times 2 \times \cdots \times n$$

L'invariant de boucle est $fact = (i - 1)!$.

Un exemple plus difficile : l'écriture en binaire

La représentation binaire d'un nombre entier x est la suite $(b_k, \ldots, b_1, b_0)$ définie par la formule :

$$x = b_k 2^k + \cdots + b_1 2 + b_0$$

Principe de calcul : en deux étapes

1. On calcule $y = 2^k$ comme la plus grande puissance de 2 t.q. $y \leq x$.
2. Itérativement, on remplace y par $y/2$ en soustrayant y de x à chaque fois que $y \leq x$ (et en écrivant 1 ou 0 suivant le cas).

```
int main(void) {

int x,y,n;

  scanf("%d", &n); x = n; y = 1;
  while (y+y <= x)  y = y+y;
  while (y != 0) {
    if (x < y) printf("0");
    else {
      printf("1"); x = x - y;
    }
    y = y / 2;
  }
  printf("\n");
  return 0;
}
```

Cours 4 Fonctions

Idée : écrire un programme comme un jeu de fonctions qui s'appellent mutuellement (informatique en kit).

Chaque fonction aura :

1. Une *définition* : qui comprend son nom et
   (a) Le type et le nom de ses paramètres.
   (b) Le type de la valeur rendue.
   (c) Son code : comment on la calcule.
2. Un ou plusieurs *appels* : c'est l'utilisation de la fonction.
3. Un ou plusieurs *paramètres* : ce sont les arguments de la fonction.
4. Un *type* et une *valeur*.

Exemples sans paramètres

Nous avons déja vu la fonction

```
void afficher(void){
 printf("bonjour\n");
}
```

Le type `void` est utilisé par convention en l'absence de valeur ou de paramètres. On peut aussi simplement écrire

```
double pi(void){
 return 3.1415926535897931;
}
```

dont la valeur est de type `double` (nombres réels en double précision). On pourra ensuite, dans une autre fonction, écrire l'expression `0.5*pi()`.

Exemple avec paramètres

La fonction suivante rend le maximum de deux valeurs de type flottant.

```
float fmax(float a, float b){
 if (a > b)
   return a;
 else
   return b;
}
```

de sorte que l'expression `fmax(pi()*pi(),10.0)` vaut 10.

Version plus courte

```
float fmax(float a, float b){
 return (a > b) ? a : b;
}
```

Définition de fonctions

La définition d'une fonction comprend deux partie : l'en-tête (ou prototype) qui est de la forme

Type de valeur Nom (*Types des paramètres*) suivi de son code : un bloc de la forme

{
liste-de déclarations
liste-d'instructions
}

Les déclarations sont valables à l'intérieur du bloc seulement (variables locales).

On peut aussi avoir des variables *globales* déclarées au même niveau que les fonctions.

L'instruction **`return`** *expression* ; permet de rendre une valeur et arrête l'exécution.

Une fonction doit être définie avant d'être utilisée.

Appels de fonctions

Une fonction est déclarée avec des paramètres formels. Elle est appelée avec des paramètres réels (en nombre égal).

déclaration de fonction	appel de fonction
paramètre formel	paramètre d'appel

```
float fmax(float a, float b){
 return (a> b) ? a : b;
}

int main(void){
 float x;
 scanf("%f",&x);
 printf("%f",fmax(x,x*x));
 return 0;
}
```

Autres exemples de fonctions

Pour tester si un nombre est premier :

```
void premier(int n){
 int d;
  d = 1;
  do
   d = d+1;
  while (n % d >= 1 &&  d*d <= n);
  if ((n % d == 0) && (n > 2))
        printf("nombre divisible par %d\n",d);
   else
        printf("nombre premier\n");
}
```

La fonction factorielle :

```
int fact(int n){
 int i, f;

  f = 1;
  for (i=2; i<= n; i++)
   f = f * i;
  return f;
}
```

Modes de transmission des paramètres

L'appel d'une fonction

```
truc(x)
```

transmet à la fonction `truc` la *valeur* de la variable x (ou de l'expression x).
Pour changer la valeur de la variable x, il faut transmettre son *adresse*. On utilise l'opérateur & comme dans

```
scanf("%d",&n);
```

qui permet de lire au clavier une valeur qui sera affectée à la variable n.

Exemple

```
 void echange (int x, int y){
 int t;

 t = x; x = y; y = t;
}
```

L'appel de `echange(a,b)` ne change pas les valeurs de a et b : la fonction `echange` travaille sur des copies auxquelles on passe la *valeur* de a et b.

Par contre :

```
 void echange (int *p, int *q){
 int temp;

 temp = *p; *p = *q; *q = temp;
}
```

Réalise l'échange en appelant `echange(&a,&b);`

Explication

Les opérateurs `&` (*référence*) et `*` (*déréférence*) sont inverses l'un de l'autre.

- Si x est une variable de type t, alors `&x` est l'adresse de x. C'est une expression de type $t\,*$
- Si p est déclaré de type $t\,*$, alors `*p` est une expression de type t.

On dit que p est un *pointeur*. C'est une variable dont la valeur est une adresse.

Exemple

Supposons que l'adresse de la variable x soit 342 et sa valeur 7.
L'instruction

```
p=&x;
```

donne à la variable p la valeur 342. La valeur de l'expression `*p` est 7.

Implémentation des appels de fonctions

Chaque appel de de fonction est effectué dans une zone mémoire nouvelle et réservée à cet appel.

valeur rendue
valeur des paramètres
adresse de retour
variables locales

On dit que cette zone est un *enregistrement d'activation* (‘*activation record*’). Quand l'appel de fonction est terminé, la zone est libérée (on dit que c'est une gestion *dynamique* de la mémoire).

Cours 5 Tableaux

Type de données *construit* le plus simple. Permet de représenter des suites d'éléments d'un ensemble.

0	1	2	3	4
0.3	1.4	15.0	1.6	4.8

Avantage : pouvoir accéder aux éléments avec une adresse calculée.
Contrainte : tous les éléments doivent être du même type.
Déclaration :

```
float a[5];
```

Tous les indices commencent à 0. Le *nom* de l'élément d'indice i est :

```
a[i]
```

Définition des tableaux

On utilise souvent une *constante* pour désigner la dimension d'un tableau.

```
 #define N 50 /* dimension des tableaux */
..
 float Resultats[N];
```

déclare un tableau de 50 nombres réels de R[0] à R[49].
On peut définir et initialiser un tableau de la façon suivante.

```
int a[5]={1,1,1,1,1};
```

initialise tous les éléments de a à 1.

Lecture et écriture d'un tableau

On peut lire les valeurs d'un tableau de N nombres entiers

```
void Lire(int a[]){
 int i;
 for (i = 0; i < N; i++)
   scanf("%d",&a[i]);
}
```

ou les écrire

```
void Ecrire(int a[]){
 int i;
 for (i = 0; i < N; i++)
   printf("%d ",a[i]);
 printf(``\n'');
}
```

Le passage est par adresse car le nom d'un tableau est une adresse (celle du premier élément). De ce fait on peut écrire

```
void Lire(int * a)
```

au lieu de `void Lire(int a[])`.

Si on veut passer la dimension du tableau en paramètre (au lieu d'utiliser une constante symbolique), il faut écrire :

```
void Lire(int a[], int n){
 int i;
 for (i = 0; i < n; i++)
   scanf("%d",&a[i]);
}
```

et

```
void Ecrire(int a[], int n){
 int i;
 for (i = 0; i < n; i++)
   printf("%d ",a[i]);
 printf(``\n'');
}
```

On pourra alors écrire par exemple

```
int main(void){
  int a[N];
  scanf("%d",&n);
  if(n>N) return 1;
  Lire(a,n);
  Ecrire(a,n);
  return 0;
}
```

Recherche du minimum

Donnée : Tableau $a[0], a[1], \ldots, a[N-1]$ de nombres entiers.

Principe : On garde dans la variable m la valeur provisoire du minimum et on balaye le tableau de 0 à $N-1$.

```
int Min(int a[]){
 int i, m;

  m = a[0];
  for  (i = 1; i < N; i++)
   if (a[i] < m)  m = a[i];
  return m;
}
```

Somme des éléments

Calcul de la somme $a[0] + a[1] + \ldots + a[N-1]$.

```
int Somme(int a[]){
  int i,s;
  s=0;
  for(i=0;i<N;i++)
    s+=a[i];
  return s;
}
```

Tri par sélection

Donnée : N nombres entiers $a[0], a[1], \ldots, a[N-1]$.

Résultat : Réarrangement croissant $b[0], b[1], \ldots, b[N-1]$ des nombres $a[i]$.

Exemple :

a =

24	5	81	2	45

b =

2	5	24	45	81

Principe : A la i-ème étape, on cherche le minimum de $a[i], a[i+1], \ldots, a[N-1]$ et on l'échange avec $a[i]$.

Tri par sélection

```
#define  N 10
/* prototypes*/
void Lire(int a[]);
void Ecrire(int a[]);

int IndiceMin(int a[], int i){
/* calcule l'indice du minimum*/
/* a partir de i */
  int j,k;

  j = i;
  for  (k = i+1; k < N; k++)
    if (a[k] < a[j])  j = k;
  return j;
}
```

```
void Trier(int a[]){
  int i;

  for (i = 0; i < N; i++){
     int j,t;
     j=IndiceMin(a,i);
     t=a[j]; a[j]=a[i]; a[i]=t;
  }
}

int main(void){
  int a[N];
  Lire(a); Trier(a); Ecrire(a);
  return 0;
}
```

Le nombre d'opérations est de l'ordre de N^2. Pour $N = 10^5$ avec 10^6 opérations/s, le temps devient de l'ordre de 10^4 s (près de 3 h).

Interclassement

On veut réaliser la fusion de deux suites croissantes $a[0] < a[1] < \cdots < a[n-1]$ et $b[0] < b[1] < \cdots < b[m-1]$, c'est à dire une suite $c[0] < c[1] < \cdots < c[m+n-1]$ qui est un interclassement des suites a et b.

Le principe est de parcourir linéairement les suites a et b de gauche à droite en insérant à chaque fois dans c le plus petit des deux éléments courants.

Par exemple : Si

$a =$	2	10	12	25	41	98
$b =$	5	14	31	49	81	

Alors :

$c =$	2	5	10	12	14	25	31	41	49	81	98

On utilise deux éléments supplémentaires à la fin des tableaux a et b plus grands que tous les autres (sentinelles).

```
void Interclassement(int a[], int b[], int c[],int p){
  /*i et j servent a parcourir a et b*/
  int i = 0, j = 0;
  while (i+j < p)
    if ( a[i] <= b[j] ){
      c[i+j] = a[i];
      i++;
    }
    else if (b[j]< a[i]){
      c[i+j] = b[j];
      j++;
    }
}
```

La fonction principale s'écrit alors

```
int main(void){
  int a[N]; int b[M];
  int k=N+M-2; int c[k];
  Lire(a,N); Lire(b,M);
  Interclassement(a,b,c,k);
  Ecrire(c,k);
  return 0;
}
```

Inversion d'une table

Problème : On dispose d'une table qui donne pour chaque étudiant(e) (classé dans l'ordre alphabétique) son rang au concours de (beauté, chant, informatique,..) :

numéro	nom	rang
0	arthur	245
1	béatrice	5
2	claude	458
	...	

On veut construire le tableau qui donne pour chaque rang le numéro de l'étudiant :

rang	nom	numéro
0	justine	125
1	nathan	259
	...	

Programmation

On part du tableau `int rang[N]` et on calcule le résultat dans un tableau `numero` du même type.

```
void Inversion(int rang[], int numero[])
{
 int i;
 for (i = 0; i < N; i++)
     numero[rang[i]] = i;
}
```

On a en fait réalisé un *tri* suivant une clé (le rang au concours) par la méthode de *sélection de place*.

Moralité : pour parcourir un tableau le plus efficace n'est pas toujours de le faire dans l'ordre. Ici on utilise un *adressage indirect*.

Tri par séléction de place

On fait l'hypothèse que toutes les valeurs sont $< M$. On utilise un tableau de M booléens.

```
void Tri(int a[]){
  int i,j;
  int aux[M];
  for(i=0;i<M; i++) aux[i]=0;
  for(i=0;i<N; i++) aux[a[i]]=1;
  j=0;
  for(i=0;i<M; i++)
    if(aux[i]==1){
      a[j]=i;
      j++;
    }
}
```

Résultat : le nombre d'opérations est de l'ordre de M.

Cours 6 Tableaux (suite)

– tableaux à deux dimensions
– débordements
– chaînes de caractères

Tableaux à deux dimensions

Un tableau à deux dimensions permet d'accéder à des informations comme une image (en donnant pour chaque point (i, j) une valeur comme la couleur).
L'élément en ligne i et colonne j est noté

```
a[i][j]
```

Du point de vue mathématique, c'est une *matrice*. Voici par exemple comment on initialise un tableau $N \times N$ à 0.

```
int C[N][N];
int i, j;

for (i = 0; i < N, i++)
 for (j = 0; j < N; j++)
     C[i][j] = 0;
```

Les tableaux à plusieurs dimensions sont rangés en mémoire comme un tableau à une seule dimension. Si on range (comme en C) les éléments par ligne alors $a[i][j]$ est rangé en place $i \times m + j$ (pour un tableau $[0..n-1] \times [0..m-1]$).
Pour passer un tableau à deux dimensions en paramètre, on doit donner la deuxième dimension. Exemple : lecture d'un tableau à deux dimensions.

```
void Lire2(int a[][N]){
  int i,j;
  for(i=0;i<N;i++)
  for(j=0;j<N;j++)
    scanf("%d",&a[i][j]);
}
```

L'expression `a[i]` désigne la ligne d'indice i du tableau. On peut donc aussi écrire :

```
void Lire2(int a[][N]){
  int i;
  for(i=0;i<N;i++)
    Lire(a[i]);
}
```

Exemple

Calcul des sommes par lignes d'un tableau.

```
void Somme2(int a[][N],int s[]){
  int i;
  for(i=0;i<N;i++)
    s[i]=Somme(a[i]);
}

int main(void){
  int a[N][N];
  int s[N];
  Lire2(a);
  Somme2(a,s);
  Ecrire(s);
  return 0;
}
```

Débordements

Le langage C ne réalise pas de contrôle sur les valeurs des indices. On doit faire attention à ne jamais appeler un indice hors des valeurs autorisées.

Sinon, il peut se produire des choses désagréables :

1. modifications de valeurs d'autres variables.
2. erreur d'execution

Exemples

L'affectation change la valeur d'une autre variable :

```
int main(void){
  int x=0;
  int a[5];
  a[5]=1;
  printf("%d\n",x);
  return 0;
}
```

Le résultat est 1. Par contre, l'exécution de

```
int main(void){
  int a[100];
  a[1000]=1;
  return 0;
}
```

provoque une erreur à l'execution ('erreur de segmentation').

Chaînes de caractères

Une chaîne de caractères est un tableau de caractères terminé par le caractère `NUL` ('\0', entier zéro).

b	o	n	j	o	u	r	\0		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

L'initialisation peut se faire par

```
char salut[10]="bonjour";
```

ou aussi

```
char *s="bonjour";
```

Attention : une chaîne initialisée comme `s` ci-dessus n'est plus modifiable.

La bibliothèque string.h

La bibliothèque `<string.h>` contient des fonctions sur les chaînes de caractères comme

```
char *strcpy(char *destination,
                const char *source)

int strcmp(char *s,char *t)

char *strcat(char * destination,
          const char *source);
int strlen(const char *s);
```

Pour les utiliser, on doit ajouter en tête de fichier

```
#include <string.h>
```

Recopie

Voici une fonction qui copie une chaîne de caractères. Ci-dessous le tableau `t` est recopié dans le tableau `s`.

```
void copie(char s[], char t[]) {
  int i=0;
  do  {
    s[i] = t[i];
    i++;
  } while (t[i-1] != '\0')
}
```

Ou encore,

```
void copie(char s[], char t[]) {

 for (i=0; t[i]!='\0';i++){
    s[i] = t[i];
 }
 s[i]='\0';
}
```

Ou encore, de façon plus compacte

```
void copie(char s[], char t[]) {
 int i=0;
 while (s[i] = t[i])
   i++;
}
```

On peut aussi utiliser

```
char *strcpy(char *destination,
                const char *source);
```

Concaténation

Pour concaténer deux chaînes,

```
void concat(char s[], char t[]){
     int i=0, j=0;
     while(s[i]!='\0')
        i++;
     while(t[j] !='\0'){
        s[i+j]=t[j];
        j++;
     }
     s[i+j]='\0';
}
```

on peut aussi utiliser

```
char *strcat(char * destination,
          const char *source);
```

Ainsi, avec

```
char d[50]="Bonjour";
char *s="a tous";
char *p;
```

après l'instruction

```
p=strcat(d,s);
```

le tableau `d` contient "bonjour a tous" et le pointeur `p` pointe sur `d`.

Voici un exemple de tableau à deux dimensions de caractères : les noms des jours de la semaine.

```
char Nom[7][10]={
 "lundi",
 "mardi",
 "mercredi",
 "jeudi",
 "vendredi",
 "samedi",
 "dimanche",
};
```

La fonction ci-dessous donne le nom du n-ième jour :

```
void lettres(int n) {
  printf("%s\n",Nom[n]);
}
```

Recherche d'un mot dans un texte

L'algorithme suivant recherche le mot x dans le texte y. Il rend le premier indice j de y tel que $y_j \cdots = x_0 \cdots x_n$ et -1 si on ne l'a pas trouvé..

```
int naif(char *x, char *y){
  int i=0,j=0;
  do {
    if(x[i]==y[j]){
      i++;j++;
    }
    else{
      j=j-i+1;
      i=0;
    }
  } while(x[i] && y[j]);
  if(x[i]==0) return j-i else return -1;
}
```

Cours 7 Structures

Une structure est, comme un tableau, un type construit. Avec une structure, on peut grouper dans une seule variable plusieurs variables de types différents. Ceci permet de créer des objets complexes.

Chaque objet possède ainsi des *champs* qui ont eux-même un type. Si p est une structure ayant des champs `x,y,z` on note `p.x, p.y, p.z` ces differentes valeurs.

L'affectation d'une structure recopie les champs.

Une structure peut être passée en paramètre d'une fonction et rendue comme valeur. On pourra par exemple grouper une chaîne

de caractères et un entier pour former une fiche concernant une personne (nom et âge).

```
struct fiche{
  char nom[10];
  int age;
};
struct fiche x;
```

Les fonctions

```
void lire(struct fiche *x){
  scanf(``%s'',x->nom);
  scanf(``%d'',&x->age);
}
void ecrire(struct fiche x){
  printf(``nom : %s\n
           age : %d\n'',x.nom,x.age);
}
```

permettent de lire et d'ecrire une fiche.

Nombre complexes

On peut ainsi déclarer un type pour les nombres complexes

```
struct complexe{
  float re;
  float im;
};

struct complexe z;

z.re = 1;
z.im = 2;
```

initialise $z = 1 + 2i$.

z | 1 | 2 |

On peut ensuite ecrire des fonctions comme

```
struct complexe somme(struct complexe u,
                      struct complexe v) {
  struct complexe w;
  w.re = u.re + v.re;
  w.im = u.im + v.im;
  return w;
}

void afficher(struct complexe z){
  printf(``%f+ %fi\n'',z.re,z.im);
}
```

Exemple

On peut calculer le module d'un nombre complexe par la fonction :

```
float module(struct complexe z){
  float r;
  r= z.re*z.re + z.im*z.im;
  return sqrt(r);
}
```

Puis l'inverse :

```
struct complexe inverse(struct complexe z){
  struct complexe w;
  float c;
  float module = module(z);
  if (module != 0){
    c = module * module;
    w.re= z.re/c;
    w.im= -z.im/c;
    return w;
  }
  else exit(1);
}
```

Usage de `typedef`

On peut créer un alias pour un nom de type comme :

```
typedef struct {
  float re;
  float im;
} Complexe;
```

On obtient ainsi un alias pour le nom du type.

```
Complexe somme(Complexe u,Complexe v) {
  Complexe w;
  w.re = u.re + v.re;
  w.im = u.im + v.im;
  return w;
}
```

La règle est que le nom de type défini vient à la place du nom de la variable.
On peut ainsi définir

```
typedef int Tableau[N][N];
```

et ensuite :

```
Tableau a;
```

Adresses

Pour représenter une adresse postale :

```
typedef struct {
  int num;
  char  rue[10];
  int code;
  char  ville[10];
} Adresse;
```

```
Adresse saisir(void) {
  Adresse a;
  printf("numero:"); scanf("%d",&a.num);
  printf("rue:"); scanf("%s",a.rue);
  printf("code:");scanf("%d",&a.code);
  printf("ville:"); scanf("%s",a.ville);
  return a;
}
```

```
void imprimer(Adresse a) {
  printf("%d rue %s\n%d %s\n",
           a.num,a.rue,a.code,a.ville);
}

int main(void) {
  Adresse a = saisir();
  imprimer(a);
  return 0;
}
```

Execution :

```
numero: 5
rue: Monge
code: 75005
ville: Paris

5 rue Monge
75005 Paris
```

Utilisation de plusieurs fichiers

En général, on utilise plusieurs fichiers séparés pour écrire un programme. Cela permet en particulier de créer des bibliothèques de fonctions réutilisables.

Pour l'exemple des nombres complexes, on pourra par exemple avoir un fichier `complexe.c` contenant les fonctions de base et les utiliser dans un autre fichier à condition d'inclure un en-tête qui déclare les types des fonctions utilisées.

On pourra créer un fichier `entete.h` et l'inclure par `#include "entete.h"`.

Le fichier complexe.c

```
#include "Entete.h"
void ecrire(Complexe z){
  printf("%f+i%f\n",z.re,z.im);
}
Complexe somme(Complexe u,Complexe v) {
  Complexe w;
  w.re = u.re + v.re;
  w.im = u.im + v.im;
  return w;
}
Complexe produit(Complexe u, Complexe v){
  Complexe w;
  w.re=u.re*v.re-u.im*v.im;
  w.im=u.re*v.im+u.im*v.re;
  return w;
}
float module(Complexe z){
  float r;
  r= z.re*z.re + z.im*z.im;
  return sqrt(r);
}
```

Le fichier Entete.h

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


typedef struct {
  float re;
  float im;
} Complexe;

void ecrire(Complexe z);

Complexe somme(Complexe u, Complexe v);

Complexe produit(Complexe u, Complexe v);

float module(Complexe z);

Complexe inverse(Complexe z);
```

Le fichier principal

```
#include "Entete.h"


Complexe exp(float teta){
  //calcule exp(i*teta)
  Complexe w;
  w.re=cos(teta);
  w.im=sin(teta);
  return w;
}
int main(void){
  ecrire(exp(3.14159/3));
  return 0;
}
```

On compile par

```
gcc -lm complexe.c exp.c
```

Résultat

```
0.500001+i0.866025
```

Cours 8 Appels récursifs

Une fonction peut en appeler une autre. Pourquoi pas elle-même ?

```
int puissance(int x,int n) {
 int y;

   if (n == 0)
    y = 1;
   else
    y = x * puissance (x,n-1);
   return y;
}

int main(void) {
  printf("%d\n",puissance(2,10));
  return 0;
}
```

Résultat : 1024

Récursivité

Un appel récursif est la traduction d'une *définition par récurrence*.

Par exemple, pour la fonction puissance, $y_n = x^n$ est défini par $y_0 = 1$, puis pour $n \geq 1$ par :

$$y_n = \begin{cases} 1 & \text{si } n = 0 \\ x \times y_{n-1} & \text{sinon} \end{cases}$$

Un autre exemple

La fonction factorielle

$$n! = n(n-1)\dots 1$$

est définie par récurrence par $0! = 1$ puis

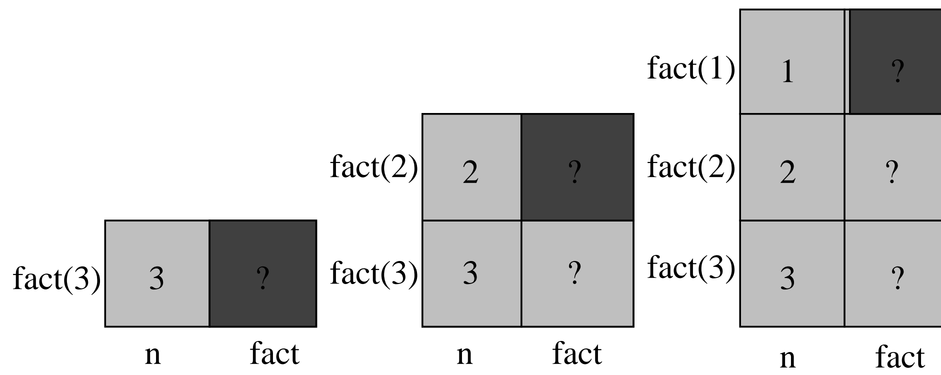
$$n! = n \times (n-1)!$$

Programmation

```
int fact(int n) {
  return (n == 0) ?  1 : n * fact(n-1);
}
```

Comment ça marche ?

La mémoire est gérée de façon *dynamique* : une nouvelle zone est utilisée pour chaque appel de la fonction dans la *pile d'exécution*. De cette façon, les anciennes valeurs ne sont pas écrasées.



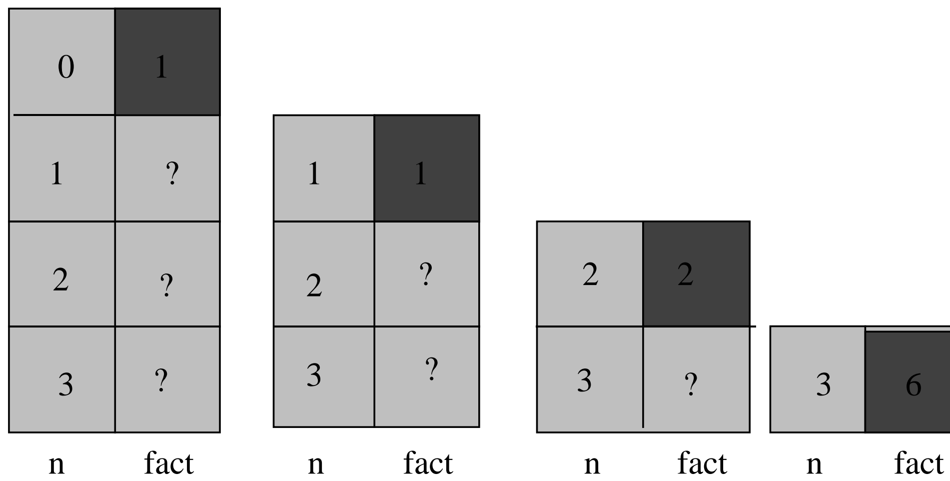


Figure 1 – La pile d'execution

Encore un exemple

La suite de Fibonacci est définie par $f_0 = f_1 = 1$ et pour $n \geq 1$

$$f_{n+1} = f_n + f_{n-1}$$

Le programme recursif ci-dessous traduit directement la définition :

```
int fibo(int n)
{
  return (n==0 || n==1)?
      1 : fibo(n-1)+fibo(n-2);
}
```

Mais cette fois le résultat est catastrophique : il faut plus de 10mn sur mon Mac pour calculer (en long) fibo(30) alors que le calcul est immédiat en itératif.

En fait, le temps de calcul est passé d'une fonction linéaire en n (en itératif) à une exponentielle en n (en récursif).

La représentation binaire

La représentation binaire d'un nombre entier x est la suite $\text{bin}(x) = (b_k, \ldots, b_1, b_0)$ définie par la formule :

$$\begin{aligned} x &= b_k 2^k + \cdots + b_1 2 + b_0 \\ &= 2(b_k 2^{k-1} + \cdots + b_1) + b_0 \end{aligned}$$

ce qui s'écrit aussi

$$\text{bin}(x) = (\text{bin}(q), r)$$

si q, r sont le quotient et le reste de la division entière de x par 2 :

$$x = 2q + r$$

On va voir qu'il est *plus facile* d'écrire le programme sous forme récursive : c'est une simple traduction des relations de récurrence.

Programme récursif

La fonction suivante écrit un nombre entier en binaire.

```
void binaire (int x) {
   if (x<=1)  printf("%d",x);
   else {
     binaire(x/2);
     printf("%d",x%2);
   }
}
```

ou encore plus court :

```
void binaire(int x) {
  if (x >= 2) binaire(x/2);
  printf("%d", x%2);
}
```

La multiplication du paysan russe

Par exemple, pour calculer 135×26, on écrit

135	26
270	13
540	6
1080	3
2160	1
3510	

A gauche on multiplie par 2 et à droite, on divise par 2. On somme la colonne de gauche sans tenir compte des lignes où le nombre de droite est pair. L'écriture récursive est très simple.

```
int mult(int x, int y){
 if(y==0) return 0;
 return x*(y%2) + mult(x*2,y/2);
}
```

C'est une variante de la décomposition en base 2.

Le jeu des chiffres

On cherche à réaliser une somme s donnée comme somme d'une partie des nombres $w_0, w_1, \ldots, w_{n-1}$.

On remarque qu'on peut se ramener à étudier deux cas :

1. il y une solution utilisant w_0, et donc une solution pour obtenir $s - w_0$ avec $w_1, \ldots, w_{n-1}$.
2. il y a une solution pour obtenir s avec $w_1, \ldots, w_{n-1}$.

De façon générale, le problème $(s, 0)$ se ramène à $(s - w_0, 1)$ ou $(s, 1)$.

On considère donc le problème (s, k) de savoir si on peut atteindre s avec $w_k, \ldots, w_{n-1}$. La fonction suivante rend 1 si c'est possible et 0 sinon.

```
int chiffres(int s, int k) {
  if (s == 0) return 1;
  if (s < 0 || k>=n) return 0;
  if (chiffres(s-w[k],k+1) return 1;
  else return chiffres(s,k+1);
}
```

Moralité

Pour utiliser la récursivité, on doit, en général se poser plusieurs questions :

1. quelles sont les variables du problème ?
2. quelle est la relation de récurrence ?
3. quels sont les cas de démarrage ?

L'utilisation de la récursivité permet d'écrire en général plus facilement les programmes : c'est une traduction directe des définitions par récurrence.

Cependant, les performances (en temps ou en place) des programmes ainsi écrits sont parfois beaucoup moins bonnes.

On peut dans certains cas commencer par écrire en récursif (prototypage) pour optimiser ensuite.

Cours 9 Algorithmes numériques

1. Types numériques en C
2. Arithmétique flottante
3. Calcul de polynômes
4. Le schéma de Horner
5. Calcul de x^n

Représentation des nombres réels

Représentation en *virgule flottante* (on dit aussi notation scientifique) :

$$6.02 \times 10^{23}$$

En général la représentation interne d'un nombre réel x se compose de :

1. La *mantisse* m comprise dans un intervalle fixe (comme $[0, 1]$)
2. L'*exposant* e qui définit une puissance de la base b.

qui sont tels que

$$n = m \times b^e$$

Le *nombre de chiffres significatifs* est le nombre de chiffres de la mantisse (prise en base 10). Ainsi, si $b = 2$ et que m a k bits, on a $\lfloor k \log_{10}(2) \rfloor$ chiffres significatifs.

Intuitivement, c'est le nombre de décimales exacts d'un nombre de la forme $0, \cdots$.

Le standard IEEE

1. simple précsion : 32 bits
2. double précision : 64 bits
3. quadruple précision : 128 bits

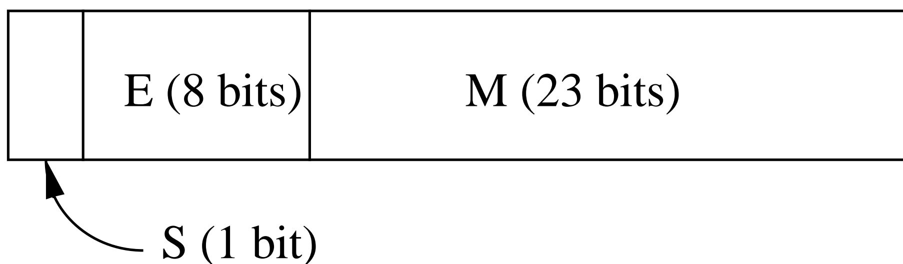


Figure 2 – Simple précision

1. Le premier bit est le **bit de signe**
2. Les 8 bits suivants sont l'**exposant** interprété en 127-excès
3. Les 23 bits restants forment la **mantisse** M. Elle est interprétée comme $1.M$

Nombre de chiffres significatifs : 23 bits, soit 6 chiffres significatifs puisque $10^6 < 2^{23} < 10^7$.

Exemple : Le mot de 32 bits

1 10000111 10100000000000000000000

représente le nombre

$$\begin{aligned} -2^{135-127} \times 1,625 &= -256 \times 1,625 \\ &= -416 \end{aligned}$$

qui se trouve être entier. Si l'exposant est 01111000 qui représente $(120)_{10} - (127)_{10} = (-7)_{10}$ en code $(127)_{10}$-excès, la valeur est :

$$-2^{-7} \times 1.625 \approx (.0127)_{10}$$

Le drôle de monde de l'arithmétique flottante

Les *erreurs d'arrondi* introduisent des comportements surprenants.

1. $n \oplus 1 = n$ dès que n est assez grand devant 1 : si $n = m \times b^e$ avec $0 < m < 1$, on a

   $$n \oplus 1 = b^e(m \oplus b^{-e}) = n$$

   dès que e est plus grand que le nombre de décimales de m. Par exemple, en C,

   ```
   float x=1.0e+8;
   x=x+1;
   printf(``%f\n'',x);
   ```

   affiche 100000000.000000.
2. La série $1 + 1 + 1 + \ldots$ converge.
3. L'addition n'est plus associative. Ainsi

   $$\begin{aligned}(1113. \oplus -1111.) \oplus 7.511 &= 2.000 \oplus 7.511 \\ &= 9.511\end{aligned}$$

   alors que

   $$\begin{aligned}1113. \oplus (-1111. \oplus 7.511) &= 1113. \oplus -1103. \\ &= 10.00\end{aligned}$$

Types numériques en C

On a en C trois types pour représenter des nombres :

1. Le type `int` pour les entiers.
2. Le type `float` pour les réels en simple précision.
3. Le type `double` pour les réels en double précision.

Les constantes de type réel s'écrivent sous la forme

```
3.1415   ou   87.45e+8
```

Le compilateur effectue les *conversions de type* nécessaires. Par exemple, la valeur de l'expression

```
2.0+1
```

est de type réel.

Formats

Pour lire ou écrire un nombre, on a les fonctions usuelles **`scanf`** et **`printf`** avec la syntaxe **`printf("..",`***exp*) et **`scanf("..",`***variable*) où le premier argument est un *format*. Il contient des caractères ordinaires et des spécifications de *conversion*. Chacune est de la forme % suivi d'un caractère.

– %d pour les entiers.
– %f pour les réels.

Des options permettent de préciser le format. Par exemple
`printf("%3d",n)` pour imprimer sur au moins trois caractères.
`printf("%.5f,x)` pour imprimer 5 décimales.

Exemples

Programme :

```
...
x= 10.999;
printf("%f\n",x);
printf("%25f\n",x);
printf("%25.5\n",x);
printf("%25.1f\n",x);
```

Résultat :

```
10.999000
                10.999000
                 10.99900
                     11.0
```

Calcul de polynômes

On utilise des polynômes

$$p(x) = a_n x^n + \ldots + a_1 x + a_0$$

pour :

1. représenter des entiers :

$$253 = 2 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 3$$

2. approximer des fonctions

$$sin(x) \approx \frac{x^5}{120} - \frac{x^3}{6} + x$$

3. tracer des courbes
4. ...

Programme en C

On suppose que le polynome $p(x)$ est représenté par le tableau

```
float a[N];
```

qui donne les coefficients

$$a[0], a[1], \ldots, a[N-1]$$

On pourra par exemple écrire

```
void ecrirePoly(float p[]){
  int i;
  printf("%.1f",p[0]);
  for(i=1;i<N;i++)
    printf("+%.1fx^%d",p[i],i);
  printf("\n");
}
```

L'exécution de

```
int main(void){
  float a[N]={1,0,1,0};
  ecrirePoly(a);
  return 0;
}
```

produit

```
1.0+0.0x^1+1.0x^2+0.0x^3
```

On peut aussi utiliser une *structure* qui conserve le degré du polynôme comme une information supplémentaire.

```
typedef struct  {
  float coeff[N];
  int degre;
    } Poly;
```

Pour entrer le polynome $x^3 + 2x - 1$, on écrit

```
#define N 20

Poly p;
p.degre = 3;
p.coeff[3] = 1;
p.coeff[2] = 0;
p.coeff[1] = 2;
p.coeff[0] = -1;
```

et cette fois

```
void ecrire(Poly p){
  int i;
  printf("%.1f",p.coeff[0]);
  for( i=1 ; i <= p.degre; i++)
    printf("+%.1f x^%d",p.coeff[i],i);
  printf("\n");
}
```

Opérations sur les polynomes

On a sur les polynomes les opérations de somme et de produit. Commençons par la somme. Si

$$\begin{aligned} p(x) &= a_n x^n + \cdots + a_1 x + a_0 \\ q(x) &= b_n x^n + \cdots + b_1 x + b_0 \end{aligned}$$

on a

$$p(x) + q(x) = (a_n + b_n)x^n + \cdots + (a_1 + b_1)x + (a_0 + b_0)$$

La somme se calcule de la façon suivante :

```
void  somme(float p[],float q[], float r[]){
 int i;
 for (i= 0; i<N; i++)
   r[i]= p[i]+q[i];
}
```

L'exécution de

```
int main(void){
  float a[N]={1,0,1,0}; float b[N]={0,1,-1,0};
  float c[N];
  somme(a,b,c);
  ecrire(c);
  return 0;
}
```

produit

```
1.0+1.0x^1+0.0x^2+0.0x^3
```

ou encore, avec l'autre structure de données

```
Poly somme(Poly p, Poly q) {
  int i;
  Poly r;
  for (i= 0; (i<= p.degre)&&(i<=q.degre); i++)
    r.coeff[i]= p.coeff[i]+q.coeff[i];
  if (p.degre > q.degre) {
    for (i= q.degre + 1; (i<= p.degre); i++)
      r.coeff[i]= q.coeff[i];
  }
  if (p.degre < q.degre) {
    for (i= p.degre + 1; (i<= q.degre); i++)
      r.coeff[i]= p.coeff[i];
  }
  r.degre= (p.degre>q.degre)? p.degre:q.degre;
  for (i= r.degre; (i>=0) && (r.coef[i] == 0); i--)
    r.degree--;
  if (r==-1) r++; /* polynome nul */
  return r;
}
```

Pour le produit, on a

$$p(x)q(x) = c_{2n}x^{2n} + \cdots + c_1 x + c_0$$

avec

$$c_k = \sum_{i+j=k} a_i b_j$$

Pour le calcul, on suppose que le degré de pq est au plus égal à $N-1$.

```
void produit(float p[], float q[], float r[]) {
```

```
 int i,k,s;
 for( k= 0; k<N; k++) {
   s =0;
   for (i=0; i<=k ; i++)
     s =s+p[i]*q[k-i];
   r[k]=s;
 }
}
```

Avec l'autre structure de données, on obtient une fonction plus compliquée.

```
int produit(Poly p, Poly q, Poly* r) {
  int i,j,k;
  r->degre = p.degre+q.degre;
  if (r->degre >= N) return 1;
  for (k = 0; k<= r->degre; k++) {
    r->coef[k] = 0;
  }
  for (i = 0; i<= p.degre; i++) {
    for (j = 0; j<= q.degre; j++) {
       r->coef[i+j] += p.coef[i] * q.coef[j];
    }
  }
  return 0;
}
```

La fonction renvoie 0 si le produit a été effectué et 1 sinon.

Evaluation en un point

On veut évaluer le polynôme

$$p(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0$$

au point $x = k$.

On veut que le calcul soit :

1. rapide
2. direct : sans consulter une table de valeurs.

Première méthode

On évalue la somme en calculant pour $i = 1, \ldots, n$:

1. La puissance k^i
2. Le produit $a_i k^i$

Pour que le calcul de k^i soit rapide, on aura avantage à calculer **de droite à gauche** :

$$1, k, k^2, \ldots, k^n$$

La méthode naïve

Le calcul de la valeur de $p(x)$ pour $x = k$ se fait par la fonction suivante :

```
float eval(float a[], float k) {
 float val,y ;
 int i;
  val= 0;
  y= 1;
  for (i= 0; i<N; i++)
  {
    val= val + a[i]*y;
    y = y*k;
  }
 return val;
}
```

Deuxième méthode : le schéma de Horner

On fait le calcul en utilisant la factorisation :

$$p(x) = (\ldots(a_n x + a_{n-1})x + \ldots + a_1)x + a_0$$

Le calcul se fait **de gauche à droite**.
Pour $i = n-1, \ldots, 1, 0$ on fait :

1. multiplier par k
2. ajouter a_i

Programme en C

```
float horner(float a[], float k) {
  float val;
  int i;
  val = a[N-1];
  for (i = N-2; i>=0; i--)
     val = val*k+a[i];
 return val;
}
```

Comparaison des méthodes

1. Nombre d'opérations :

	Naïve	Horner
additions	n	n
multiplications	$2n$	n

2. La méthode de Horner ne nécessite pas de connaître les indices i des coefficients a_i : application au calcul de la valeur d'un nombre écrit en base k.

3. La méthode de Horner a une définition *récursive* :

$$p(x) = q(x)x + a$$

Grands nombres

Pour utiliser des nombres de taille arbitraire, il est facile d'écrire des fonctions qui réalisent les opérations de base. On pourra par exemple déclarer

```
typedef struct nombre{
  char chiffres[N];
  int taille;
} Nombre;
```

puis, pour lire caractère par caractère.

```
void lire(Nombre *x){
  int i=0; char c; char tab[N];
  do{
    scanf("%c",&c);
    tab[i] = c;
    i = i+1;
  } while('0'<= c && c <= '9');
  x->taille = i;
  for(i=0;i<x->taille;i++)
    x->chiffres[i] = tab[x->taille-i-1];
}
```

```
void ecrire(Nombre x){
  int i;
  for(i=x.taille; i>0;i--)
    printf("%c",x.chiffres[i-1]);
  printf("\n");
}
// chiffre to int
int c2i (char c){
  if ('0'<= c  && c <= '9') return c-'0';
  else return -1;
}

int somme(Nombre x, Nombre y, Nombre *az){
  int i,t,r=0;

  for(i=0;
      (i<x.taille || i<y.taille || r!=0);
      i++)
  {
   if (i<x.taille && i<y.taille)
      t= c2i(x.chiffres[i])+
         c2i(y.chiffres[i])+ r;
   else if (i<x.taille)
      t= c2i(x.chiffres[i])+ r;
   else if (i<y.taille)
      t= c2i(y.chiffres[i])+ r;
   else
      t = r;
   r=t/10;
   if (i == N) return 1; //addition impossible
   else az->chiffres[i]=t%10+'0';
```

```
  }
  az->taille = i;
  return 0;
}
```

Evaluation de x^n

Pour évaluer des polynômes particuliers, on peut parfois aller plus vite que dans le cas général.
Ainsi le monôme x^n ne nécessite pas n multiplications.
Exemple :
x^{13} peut se calculer en 5 multiplications :

1. on calcule $x^2 = x \times x$
2. on calcule $x^4 = x^2 \times x^2$
3. on calcule $x^8 = x^4 \times x^4$
4. on calcule $x^{12} = x^8 \times x^4$
5. on obtient $x^{13} = x^{12} \times x$

Cette méthode revient à écrire l'exposant en base 2.

Progamme en C

Avec utilisation de la récursivité : on calcule la décomposition en base 2 sous forme récursive (utilisant en fait un schéma de Horner).

```
float puissance (float x, int n) {
  float y;
  if (n== 0) return 1;
  else if (n== 1) return x;
  else if (n%2==1) return x*puissance(x,n-1);
  else {
    y = puissance(x,n / 2);
    return y*y;
  }
}
```

Calcul de complexité

Soit $T(n)$ le nombre de multiplications effectués. On a $T(0) = T(1) = 1$.

On a pour tout entier n pair ou impair

$$T(n) \leq 2 + T(n/2)$$

On va montrer par récurrence que ceci entraine

$$T(n) \leq 2 \log_2 n$$

Ceci est vrai pour $n = 1$. Ensuite, on a

$$\begin{aligned} T(n) &\leq 2 + T(n/2) \\ &\leq 2 + 2\log_2(n/2) = 2 + 2\log_2 n - 2 \\ &\leq 2\log_2 n \end{aligned}$$

Cours 10 Résolution d'équations

1. Généralités
2. Dichotomies
3. La méthode de Newton
4. Equations différentielles

Généralités

On va étudier quelques méthodes de résolution d'équations de la forme :

$$f(x) = 0$$

où f est une fonction (polynôme ou autre) et x une inconnue réelle. On se place dans le cas où on ne peut pas obtenir de formule explicite pour x. On en cherche une approximation obtenue en appliquant une *itération* :

$$x_{n+1} = g(x_n)$$

ou

$$x_{n+1} = g(x_n, x_{n-1})$$

Pour programmer, on utilise des fonctions de la bibliothèque `math` comme `fabs(),sin(),...` Il faut mettre dans l'en tête `#include math.h` et compiler avec l'option `>gcc -lm fichier.c`.

Dichotomies

C'est la méthode la plus simple. Elle s'applique dès que f est *continue* (i. e. que ses valeurs n'ont pas de saut).

On part de deux valeurs x_1, x_2 telles que

$$f(x_1)f(x_2) < 0$$

et on pose $x_3 = (x_1 + x_2)/2$. Si $f(x_1)f(x_3) < 0$, on pose $x_4 = (x_1 + x_3)/2$, sinon on pose $x_4 = (x_3 + x_2)/2$.

L'erreur $e_n = \mid x_n - x_{n-1} \mid$ vérifie :

$$e_n < e_1/2^n$$

On dit que la méthode est *linéaire* : cela signifie en pratique que le nombre de décimales exactes augmente proportionnellement à n.

Programme

On choisit une précision ϵ et on teste la longueur de l'intervalle courant $[a, b]$.

```
float dicho(float a, float b, float eps){
 float x,fa,fx;

  fa = f(a);
  do {
   x = (a+b)/2;
   fx = f(x);
   if (fa*fx < 0)  b = x;
   else {
      a = x; fa = fx;
    }
  } while ((b-a) > eps);
 return x;
}
```

Variante

Si la fonction f est croissante, on peut écrire de façon plus simple :

```
float dicho(float a, float b, float eps) {
 float x,fa,fx;

  do {
    x = (a+b)/2;
    fx = f(x);
   if (fx > 0)
     b = x;
    else
     a = x;
  } while ((b-a) > eps);
  return x;
}
```