IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

FIP SIT151 Introduction à Linux

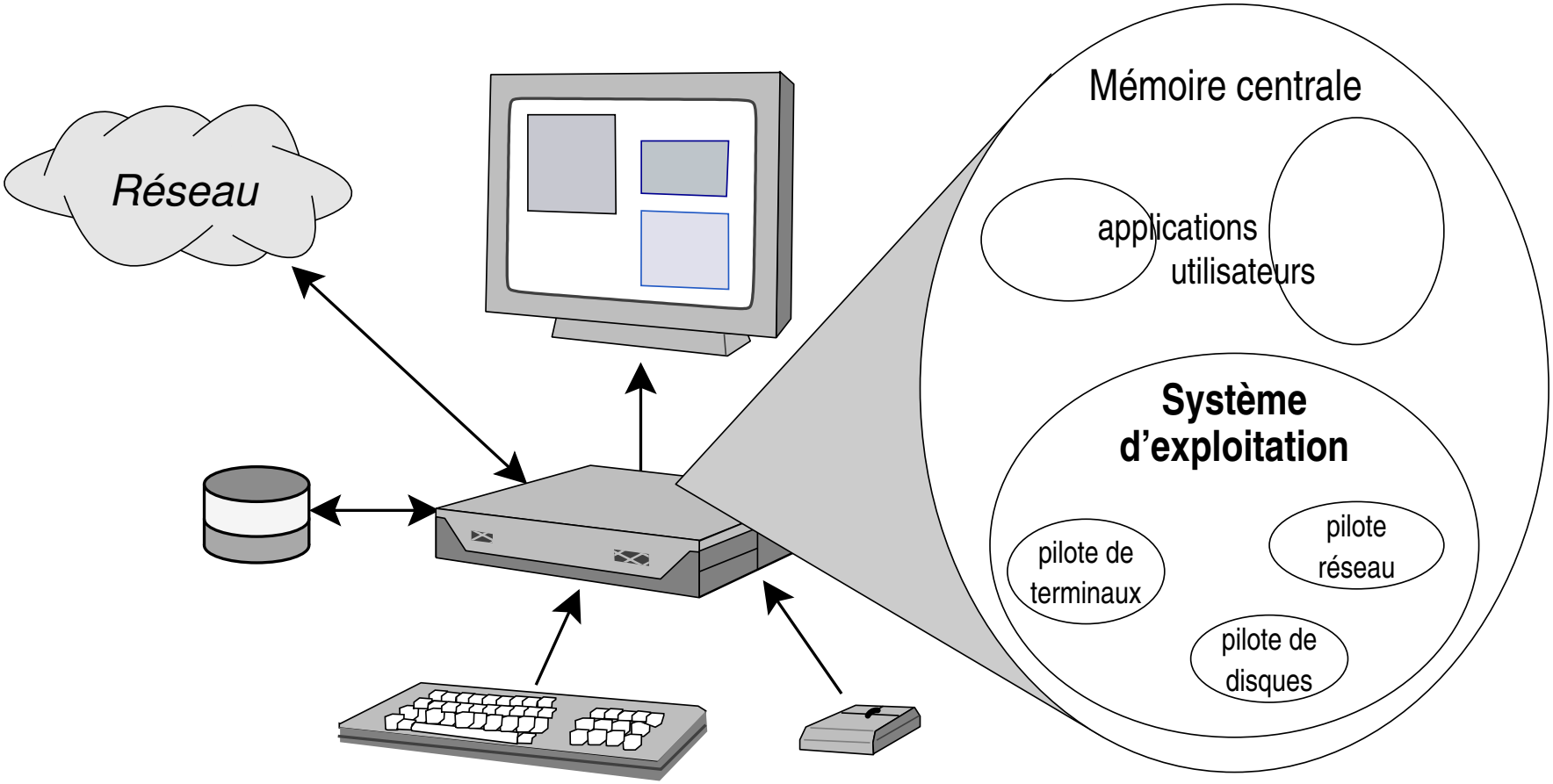
Grace Hopper - 1960

Dennis Ritchie & Ken Thompson - 1972

Sommaire

Sommaire

Unix/Linux : un système d'exploitation



Sommaire

Historique

- Unix naît officiellement le 1er janvier 1970 dans les laboratoires Bell AT&T : Ken Thompson et Dennis Ritchie
- Années 1970 : développement d'Unix, langage C (1973)
- Années 1980 : deux filières
  - Univ. Berkeley : système Unix BSD (Berkeley Software Development)
  - AT&T : Unix Système V, version commerciale standard
  - 1984 : Richard Stallman crée la Free Software Foundation et la Licence Publique Générale (GNU GPL)
- Années 1990 :
  - 1994 : Linus Torvalds écrit le noyau Linux
  - Les versions BSD continuent en logiciel libre : FreeBSD, OpenBSD...

Linux : un système Unix

- Philosophie d'Unix :
  - (presque) tout s'utilise comme un fichier
  - "Do one thing, do it well" (Doug McIlroy, l'inventeur des *pipes Unix*) :
    - Write programs that do one thing and do it well.
    - Write programs to work together.
    - Write programs that handle text streams, because that is a universal interface.
- Caractéristiques d'un système d'exploitation Unix :
  - Multitâche (multi processus)
  - Multi utilisateurs
- Spécificités (de Linux et de tous les Unix) :
  - Son Système de Gestion de Fichiers
  - La gestion des processus
- $\rightarrow$ Linux c'est (une implémentation) Unix

Linux (p.ex. Linux 5.7.0)

Le noyau, uniquement !

GNU/Linux

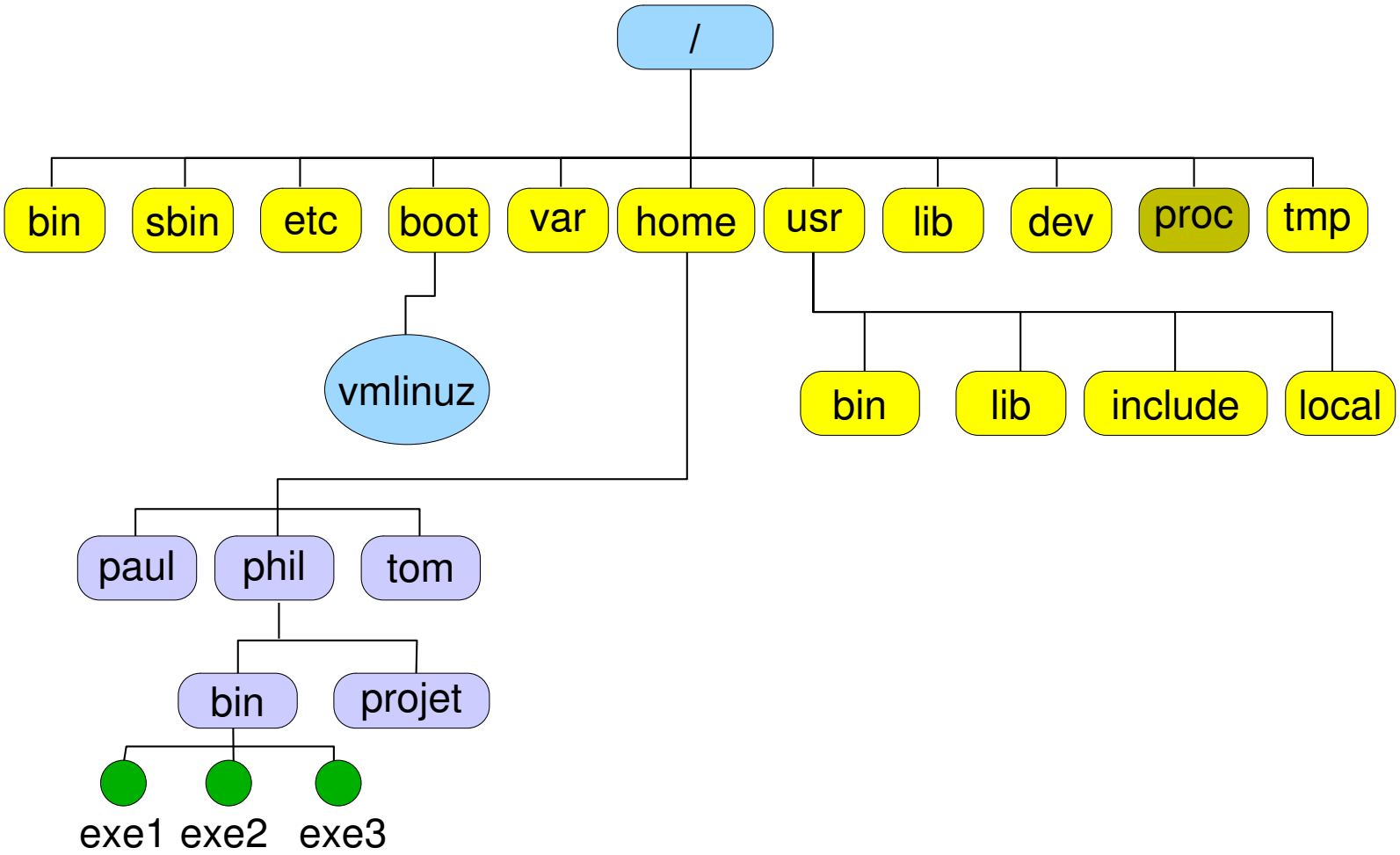
+ commandes Unix de base (implémentation de GNU)
copier un fichier, répertoire, permissions utilisateur..

une distribution Linux (p.ex. Ubuntu 22.04, Debian Buster)

+ organisation des fichiers, outils d'administration, applications

- Fichier ordinaire
  - Simple suite d'octets parfois réduite à 0 (fichier vide)
- Répertoire
  - «Fichier» contenant des références sur des fichiers
  - Permet de créer une arborescence de fichiers et répertoires
- Lien
  - Référence sur un fichier
- Fichiers spéciaux
  - Références sur des périphériques

L'arborescence du système de fichiers



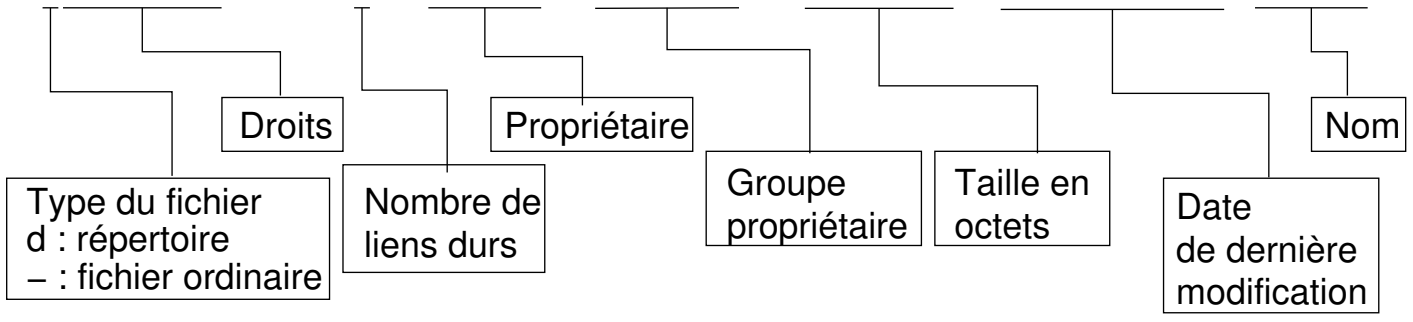
- Nommage absolu
  - par rapport à la racine, le nom commence par /
  - `/home/phil/bin/exe1`
- Nommage relatif
  - relatif au répertoire dans lequel on est :

`home/phil/bin/exe1`	si on est dans `/`
`phil/bin/exe1`	si on est dans `/home`
`bin/exe1`	si on est dans `/home/phil`
`exe1`	si on est dans `/home/phil/bin`

Visualiser le contenu d'un répertoire

- La commande ls
  - Exemple :

```
[bash]$ ls -l
total
-rwxr-xr-x     1   clohr   ens-rec      7790   avr 11 2020 essai
-rw-rw-r--     1   clohr   ens-rec      1122   avr 24 2020 essai.c
-rw-rw-r--     1   clohr   ens-rec   9869052   avr 25 2020 test
```



Les fichiers cachés

- Ce sont les fichiers dont le nom commence par un point
  - Exemple : .bashrc
- Par défaut les outils d'affichage du contenu des répertoires n'affichent pas les fichiers cachés
- Ce sont généralement des fichiers de configuration d'applications
- On peut les comparer à la base de registres sur des systèmes concurrents à Unix/Linux
- Il existe aussi des répertoires cachés, leur nom commence aussi par un point

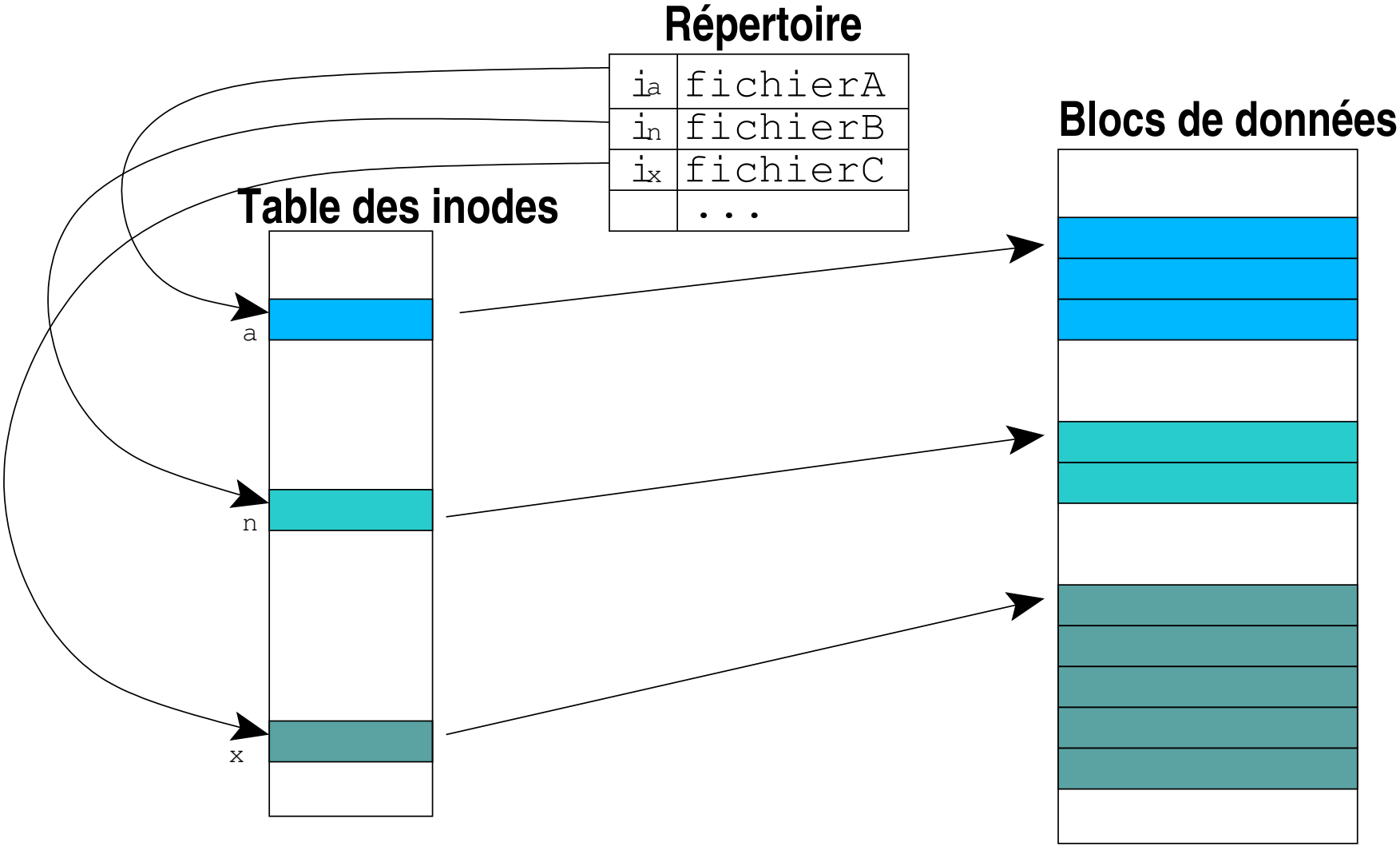
Structure et contenu d'un répertoire

- Un répertoire est avant tout un fichier
- Ce fichier, de type particulier, contient des références à des fichiers ou sous-répertoires
- Une référence est composée de :
  - la longueur de la référence
  - la longueur du nom du fichier (< 256)
  - le nom du fichier
  - un nombre index appelé **numéro d'inode** qui identifie une structure dans une table appelée ***table des inodes***
  - Cette structure contient toutes les informations sur le fichier

Système de fichiers - Contenu d'un inode

- mode et type du fichier (voir droits et protections)
- nombre de liens sur le fichier
- numéro d'identification du propriétaire du fichier (uid)
- numéro de groupe du propriétaire du fichier (gid)
- taille du fichier en octets
- adresse des blocs constituant le fichier
- date du dernier accès à ce fichier
- date de la dernière modification de mode
- date de création

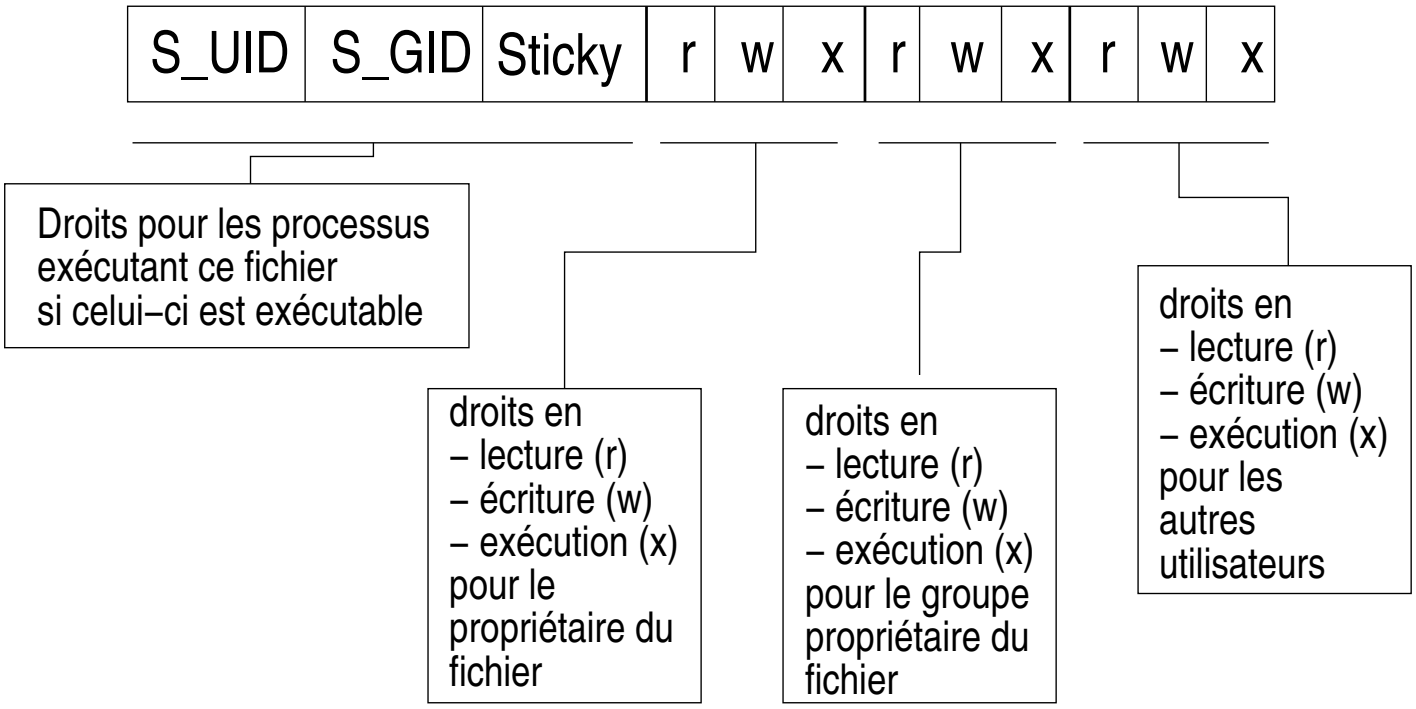
Répertoire / inodes / bloc de données



Les répertoires « . » et « .. »

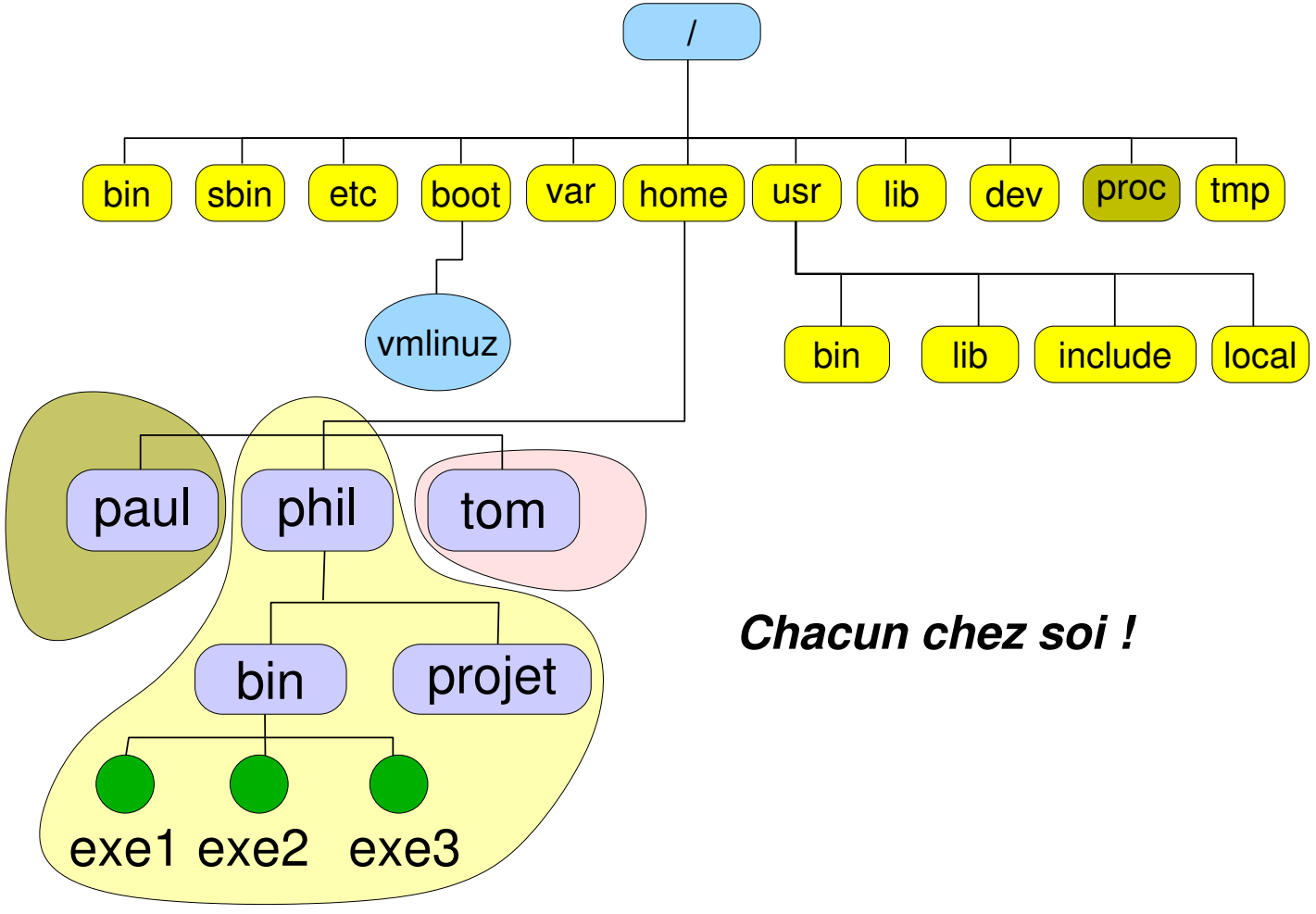
- Un répertoire n'est jamais vide, même à sa création, il contient déjà deux références sur des répertoires de nom « . » et « .. »
  - Le répertoire « . » (point) constitue une référence sur le répertoire lui-même
  - Le répertoire « .. » constitue une référence sur le répertoire immédiatement au dessus dans l'arborescence (le répertoire *père* en quelque sorte)
- Utilisation
  - Nommage sans ambiguïté d'un fichier local : `./test` par exemple
  - Nommage rapide d'un fichier au dessus : `../fichier` par exemple

- Dans le champ mode de l'inode
  - 12 bits



Les droits sur les répertoires

- Ce sont les mêmes types de droits que pour les fichiers : `r`, `w` et `x` et même `t`
- La sémantique associée est toutefois différente
- Droits :
  - `r` : le répertoire est lisible, on peut lister son contenu
  - `w` : le répertoire est «écrivable», on peut y créer des fichiers ou des répertoires
  - `x` : le répertoire n'est pas exécutable, il est accessible : on peut aller dedans, ou le traverser pour accéder à ce qu'il contient (fichiers, sous-répertoires)
  - `t` : le *sticky bit*, valable pour un répertoire ouvert en `w` à tout le monde, indique que seul un propriétaire de fichier peut supprimer ce fichier.



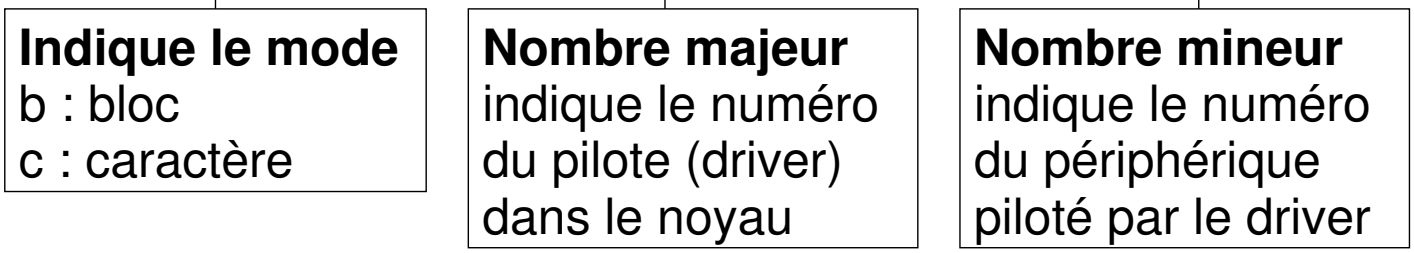
Chacun chez soi !

Les fichiers spéciaux

- Référencent des périphériques
  - Permettent les échanges (lectures/écritures) avec les pilotes des périphériques
  - Permettent le contrôle de ceux-ci
- Deux types
  - Les périphériques en mode bloc
    - les échanges se font par bloc d'octets (par «pages»)
  - Les périphériques en mode caractère appelé encore mode transparent (on dit plutôt mode *raw*)
    - les échanges se font octet par octet
  - Les disques sont plutôt en mode bloc, les terminaux en mode *raw*

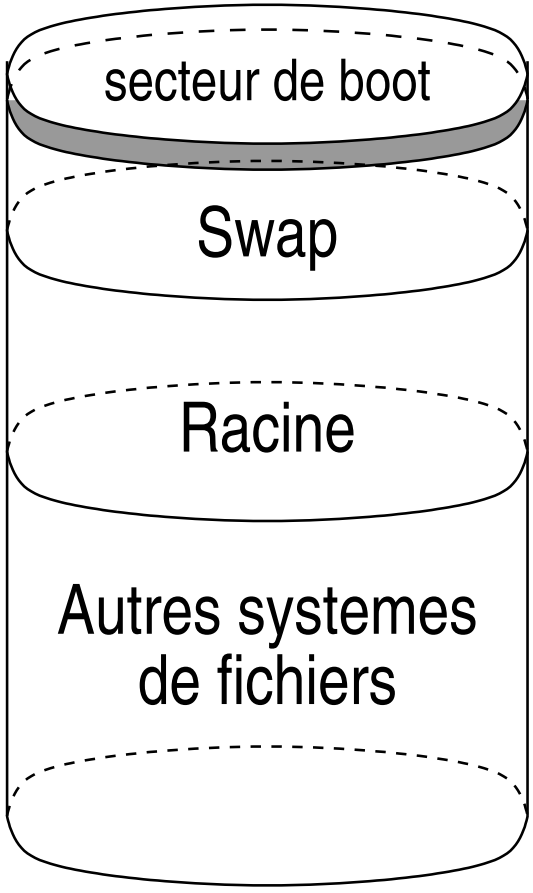
- Exemple d'entrée dans /dev

```
[bash]$ cd /dev; ls -l hda1
brw-rw---- 1 root  disk   3,  1  mar 24 2001  /dev/hda1
```



Partitions des disques

- Au moins deux zones (sur compatible x86)
  - secteur de boot
  - zone disponible pour le formatage
- Partitions :
  - la zone de swap
  - le système de fichiers racine
  - éventuellement autre systèmes de fichiers
  - (systèmes modernes) une partition système EFI (Extensible Firmware Interface) qui remplace fonctionnellement le secteur de boot

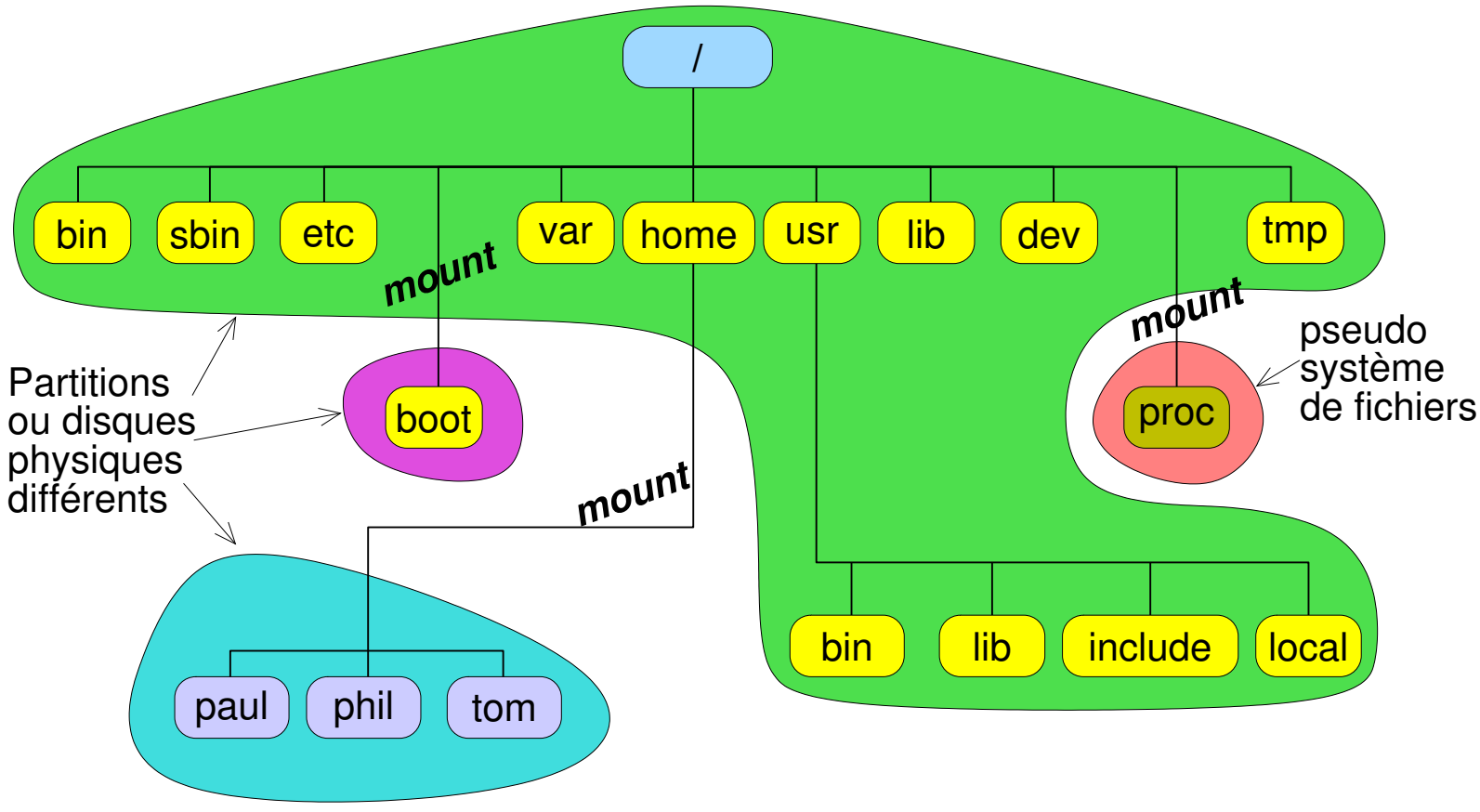


Création d'un système de fichiers

- Commande `mke2fs` (*make extended 2 File System*)
  - Issue de la commande standard Unix `mkfs`
  - Crée un système de fichiers sur une partition de type Linux (type fixé au formatage du disque via `fdisk` par exemple)
  - Le système créé est de type `ext2`, ou `ext3` (s'il est journalisé), ou `ext4` (s'il est gros, jusqu'à 1024 péta-octets)
  - Permet de fixer la taille des blocs (par défaut 4Ko), le nombre d'inodes, etc.
    Tous ces paramètres peuvent être fournis par l'administrateur sinon leur valeur est estimée en fonction de la taille de la partition (nombre d'inodes par exemple)

- Commande `fsck` ou similaire (`e2fsck`, `fsck.ext2`)
  - Vérifie la cohérence d'un système de fichiers Linux
    - Vérifie les super blocks, les inodes, les fichiers perdus (inode affecté mais pas de référence du fichier dans un répertoire). Ces fichiers sont recréés dans un répertoire appelle `lost+found` avec un nouveau nom autogénéré comportant le numéro de l'inode
  - Commande lancée automatiquement au boot. Elle vérifie d'abord si la partition a été correctement démontée lors de l'arrêt précédent, si oui, elle se termine, sauf si le nombre de montage maximum est atteint (voir transparent suivant)
  - Utilisable à tout instant, «à la main», sur un système de fichiers non monté de préférence ou monté en mode lecture seule (read only)

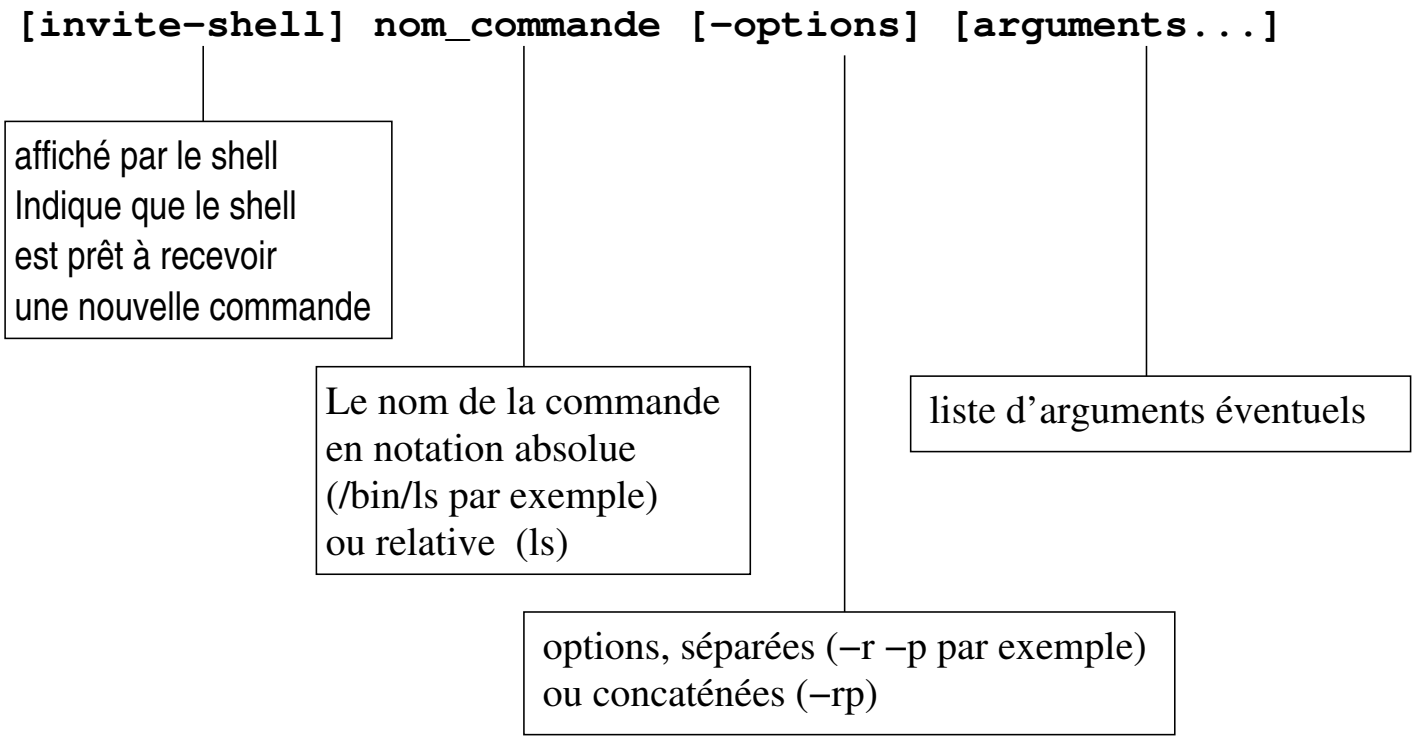
Le système de fichiers global



Comment lancer une commande

- Manière moderne
  - Via l'interface graphique
- Manière moins moderne... mais ô combien efficace !
  - Via un émulateur de terminal (xterm, gnome-terminal, ...)
  - Dans un terminal virtuel de console (accessible via `Ctrl-Alt-F1` à `F6` depuis l'interface graphique)
  - Ces méthodes lancent un processus interpréteur de commandes associé au terminal, appelé *Shell*
  - Le *Shell* est une interface entre le clavier et le système, il offre des facilités pour entrer les commandes mais aussi un vrai langage de programmation

Syntaxe générale



- Le `PATH` est une variable d'environnement
- Contient la liste des répertoires où se trouvent les commandes qu'on peut appeler par leur nom relatif le plus court : `ls` au lieu de `/bin/ls` par exemple
- Si le système vous dit : «*command not found*», il se peut que votre variable `PATH` soit mal configurée...
- Configuration dans le shell directement ou dans `$HOME/.bashrc` :
  - `export PATH=$PATH:/usr/local/bin` (par exemple)

- Les commandes en arrière-plan (*background*)
  - la ligne de commande se termine par le caractère `&`
  - le shell lance la commande et redonne la main aussitôt sans attendre qu'elle se termine. La commande poursuit son exécution en arrière-plan
- Les redirections
  - redirection du fichier standard de sortie
    - *commande* `>` *fichier*
  - Redirection du fichier standard d'erreur
    - *commande* `2>` *fichier*
  - redirection du fichier standard de sortie et d'erreur
    - *commande* `>` *fichier* `2>&1`

- Pour réaliser des filtres
  - *commande1* | *commande2* | *commande3* ...
  - le texte normalement affiché par *commande1* est redirigé vers *commande2* (il est lu par *commande2* et n'apparaît pas à l'écran). Le résultat est envoyé vers *commande3* et ainsi de suite
  - Exercice :
    - afficher le contenu du répertoire `/usr` à l'aide de la commande `ls -l`
    - en utilisant un tube de communication et la commande `head`, n'afficher que les 5 première lignes du résultat précédent
    - en utilisant un autre tube et la commande `tail`, n'afficher que la dernière ligne du résultat précédent
    - Voir le manuel en ligne pour savoir comment utiliser ces commandes

- Un caractère spécial qui en remplace plusieurs...
  - Pour les noms de fichiers
  - Un genre d'expression rationnelle (mais non POSIX)
- Exemple : `rm *` (efface les fichiers du répertoire)
- Reconnus par le shell :
  - `?` : n'importe quel caractère
  - `*` : zéro ou plusieurs caractères
  - `[A1x]` : le caractère `A` ou `1` ou `x`
  - `[a-z]` : les caractère de `a` à `z` (code ASCII)
  - `{ab,ac}` : la chaîne `ab` ou `ac`

Les commandes Unix classiques

(liste non exhaustive...)

- Créer, naviguer parmi les fichiers et répertoires
  - `ls cd pwd cp mv rm mkdir`
- Afficher — éditer des fichiers
  - `more less` — `nano`
- Filtres texte
  - `echo cat grep sort uniq sed tail tee head cut tr split paste printf`
- Comparaison de fichiers
  - `comm cmp diff patch`

Les commandes Unix classiques

...

- Administration basique (niveau utilisateur)
  - `chmod chown ps su w who`
- Communication
  - `mail telnet ftp finger ssh`
- Shells
  - `sh csh ksh zsh bash tcsh fish`

- La commande `man`... Savoir lire la syntaxe de man...
  - Par exemple : `man rm`

```
RM(1)          Manuel de l'utilisateur Linux    RM(1)
NOM
       rm - Effacer des fichiers.
SYNOPSIS
       rm  [-dfirvR] nom...
```

Nom de la commande

Liste des options
Entre [] signifie que ces opttions ne sont pas obligatoires.
(Si on les indique cependant, on ne mettra pas les crochets)

Le ou les arguments.
Ici les caractères ... indiquent que nom peut être répété plusieurs fois

- La commande `info`
  - alternative à `man`
  - généralement plus à jour
  - interface texte «à la emacs» avec menu
- La commande `apropos`
  - recherche les commandes «à propos de *xxxx*» (recherche dans les mots clefs des pages de man)

Les outils de recherche de fichiers

- La commande `locate`
  - recherche les occurrences de la chaîne de caractères qui lui est passée en arguments dans une base de données mise à jour via la commande `updatedb`
- La commande `find`
  - Recherche n'importe quoi n'importe où EN TEMPS REEL (lent)
- La commande `whereis`
  - Recherche le nom de commande passé en argument dans un certain nombre de répertoires standards
- La commande `which`
  - Recherche dans le `PATH` où se trouve la commande indiquée en argument

- Le concept de processus
  - Un processus est un programme en cours d'exécution, dans un environnement donné, dans la mémoire centrale.
- Notion d'environnement
  - Ensemble d'informations complémentaires au programme en exécution qui viennent paramétrer l'exécution
  - Essentiellement trois types d'information d'environnement
    - Les variables d'environnement
    - L'identité de l'utilisateur au nom duquel s'exécute le processus
    - Les fichiers ouverts (notamment ceux d'entrée/sortie standard)

Création d'un processus

- Un processus est toujours créé par le noyau, à la demande d'un autre processus
- Le processus qui demande la création est appelé le père, le processus créé est appelé le fils
- Le processus fils est créé en mémoire centrale dans une zone mémoire distincte du processus père
- Le processus fils est la copie intégrale du processus père. Mais un détail technique (PID : Process IDentifier) permet au développeur de différencier les deux processus.

Les variables d'environnement

- Chaînes de caractères, en majuscules par convention
  - Syntaxe `NOM=valeur`
  - Regroupées dans un espace mémoire appelé «tableau des variables d'environnement»
  - Ce tableau est hérité par les processus fils et résiste à l'exécution d'une commande (voir plus loin)
- Quelques variables standard
  - `PATH`, `HOME`, `USER`, `LOGNAME`, `DISPLAY`, ...

Identité utilisateur associé au processus

- Deux identités d'utilisateur !
  - Utilisateur réel (qui a lancé le processus), identifié par son numéro d'utilisateur dans `/etc/passwd` (*ruid : real user ID*)
  - Utilisateur effectif :
    - Dans la majorité des cas il s'agit de l'utilisateur réel
    - Si le fichier exécuté (qui a donné naissance au processus) a le bit *S_UID* positionné (une lettre `s` apparaît à la place du `x` des droits du propriétaire du fichier) alors l'utilisateur effectif est le propriétaire du fichier exécuté (*euid : effective user ID*)
    - Attention : trou de sécurité potentiel, surtout si le fichier appartient à root
- Deux identités de groupe
  - Concept identique à ci-dessus : groupe réel, groupe effectif (bit *S_GID*)

Les fichiers standards d'entrée-sortie

- Trois fichiers standards
  - Le fichier standard d'entrée
    (descripteur 0, FILE Pointer stdin)
  - Le fichier standard de sortie
    (descripteur 1, FILE Pointer stdout)
  - Le fichier standard de sortie d'erreur
    (descripteur 2, FILE Pointer stderr)
- Ouverts par défaut lors du lancement d'un exécutable
- Associés virtuellement au clavier pour l'entrée standard et à l'écran pour les deux autres
- Ils peuvent être redirigés vers des fichiers réels ou des tubes de communication

- Lister les processus
  - La commande `ps`
    - Nombreuses options : `ax`, `axl`, `axf`, `-ef`, etc.
  - La commande `top`
    - Comme `ps axu`, avec réaffichage régulier, plus des informations sur la charge et l'occupation mémoire
- Arrêter un processus
  - Si on a le contrôle (processus en premier plan dans un terminal)
    - Sans le tuer (arrêt momentané) : `<Ctrl-Z>` (`fg` pour resumer)
    - En le supprimant : `<Ctrl-C>`
  - La commande `kill` (voir pages suivantes)

Contrôle sur les processus : les signaux

- Un signal est une interruption logicielle envoyée à un processus par le noyau après un événement
- L'événement peut être :
  - Une faute logicielle (ex : division par 0, manipulation d'une adresse mémoire interdite, erreur d'alignement de donnée)
  - Terminaison d'un processus fils : par défaut (mais paramétrable) le père est prévenu
  - Intervention de l'utilisateur via le shell ou l'interface graphique pour tuer le processus ou le stopper ou autre (modification de la taille d'une fenêtre par exemple)
- Dans la plupart des cas le signal est fatal au processus

Les principaux signaux

Signal	Numéro	Fonction
HUP	1	Signal envoyé au processus en premier plan associé à un terminal lorsque celui-ci est fermé
INT	2	Envoyé depuis le clavier avec la combinaison de touches <CTRL-C> (par défaut)
QUIT	3	Envoyé depuis le clavier avec la combinaison de touches <CTRL-|> (par défaut)
KILL	9	Ne peut être intercepté, envoyé depuis le clavier via la commande `kill` (`kill -9` ou `kill -KILL`)
TERM	15	Envoyé via le clavier par la commande `kill` simple
SEGV		Erreur de segmentation, accès à une zone mémoire interdite
CLD		Terminaison d'un fils
WINCH		Modification de la taille de la fenêtre associée à l'application
STOP		Arrêt du processus sans le terminer. Envoyé via la combinaison de touches <CTRL-Z>
URG		Une données urgente a été reçue via le protocole TCP et est en attente de lecture (voir le cours sur la programmation réseau)
IO		Des données réseau sont arrivées et sont en attente de lecture. (voir le cours sur la programmation réseau)
USR1		Nom de signal utilisable par le développeur, à son gré
USR2		Nom de signal utilisable par le développeur, à son gré

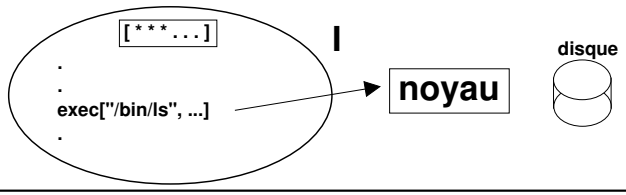
La commande `kill`

- `kill` *[numéro_ou_nom_de_signal] numéro_processus | numéro_job*
- le numéro ou le nom de signal sera en général omis sauf si le résultat est négatif, auquel cas on pourra essayer le signal `KILL` (-9) qui ne peut pas être intercepté par le processus
- Le numéro de processus sera obtenu par `ps`
- Le numéro de job n'est valable que pour les processus en arrière plan (background) ou les processus stoppés. On peut le connaître avec la commande `jobs`
- Le programmeur de l'application peut gérer l'arrivée des signaux (sauf le signal 9) et les ignorer ou les traiter, pour que le processus se termine proprement ou ne se termine pas

Les processus zombies

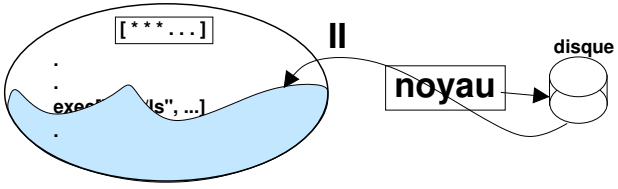
- Lorsqu'un processus fils se termine, son père doit acquitter la terminaison. C'est un problème de programmeur, pas d'utilisateur. Si l'acquittement n'est pas fait, le processus terminé reste dans la liste des processus (état `Z`), il est appelé «zombie»
- Un processus zombie est un processus fils pour lequel son père n'a pas acquitté la terminaison
- Le processus zombie est vidé de sa substance mais reste dans la liste des processus de la machine et peut être listé par `ps`
  - On ne peut plus le supprimer, il faut supprimer le père pour que le zombie disparaisse
  - Il est généralement dû à une erreur de programmation

Exécution d'un fichier par un processus



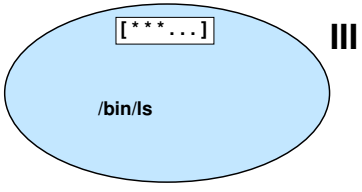
Étape I : le processus appelle exec en indiquant un fichier exécutable en paramètre

---



Étape II : le noyau va chercher le fichier sur le disque et le recopie à l'endroit où réside le processus. Le code original de celui-ci est écrasé et remplacé par le code du fichier

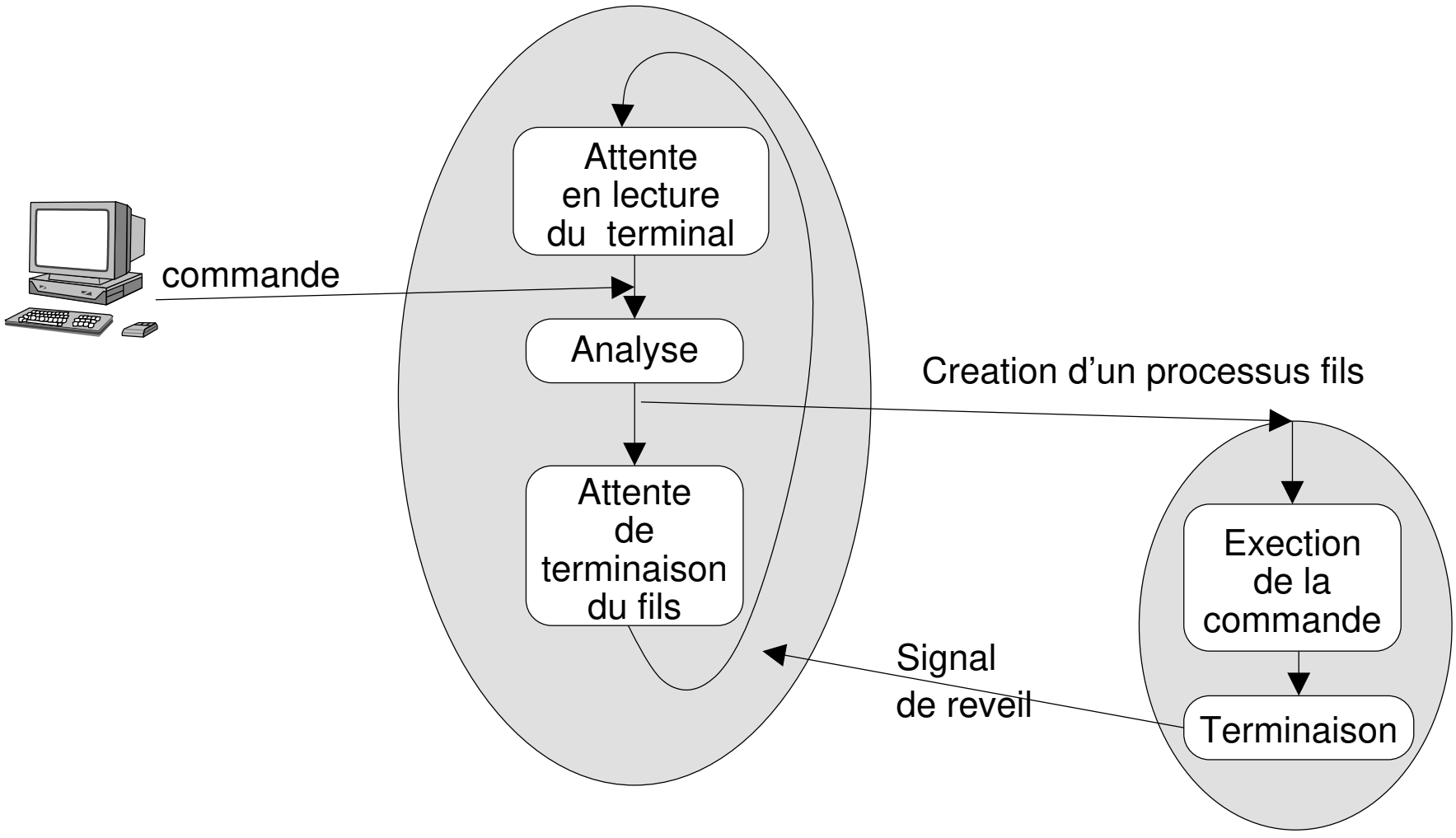
---

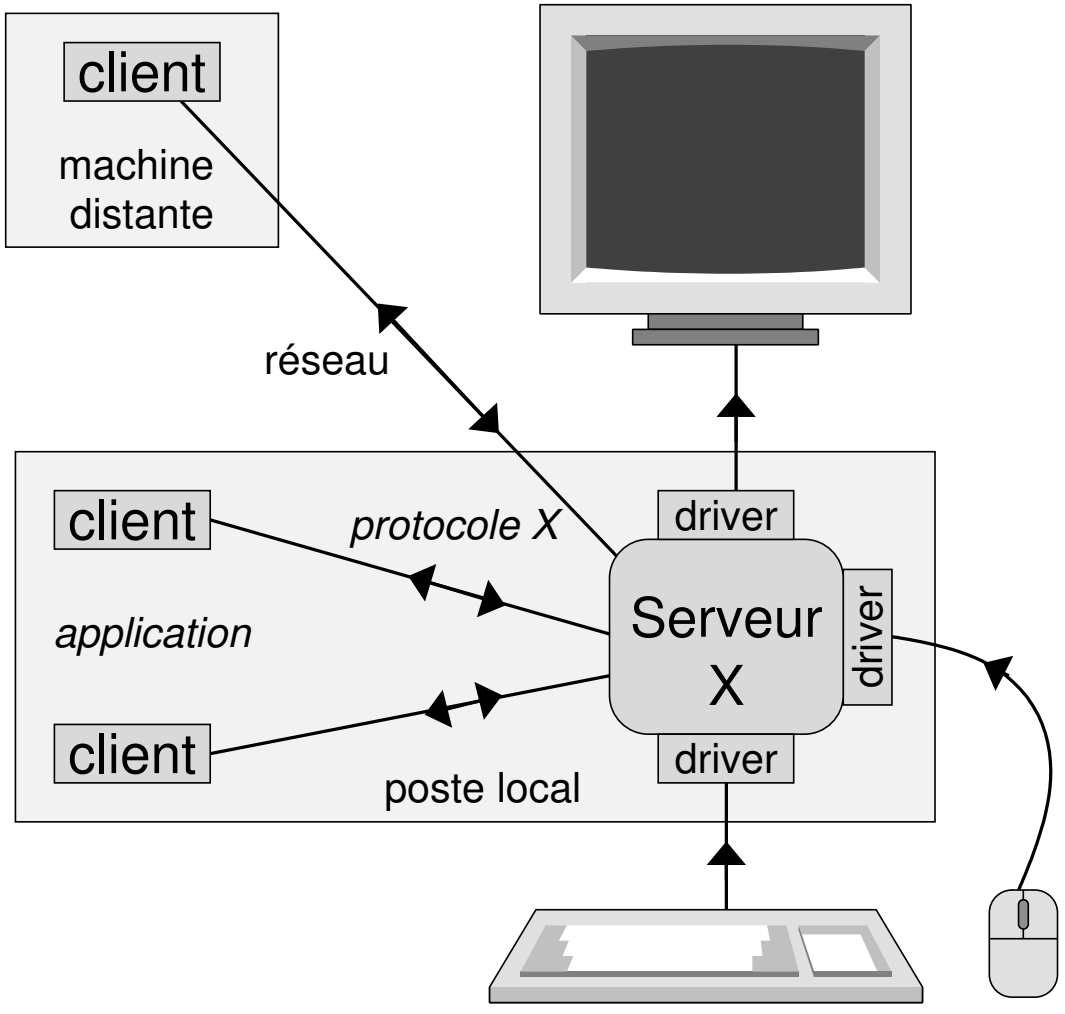


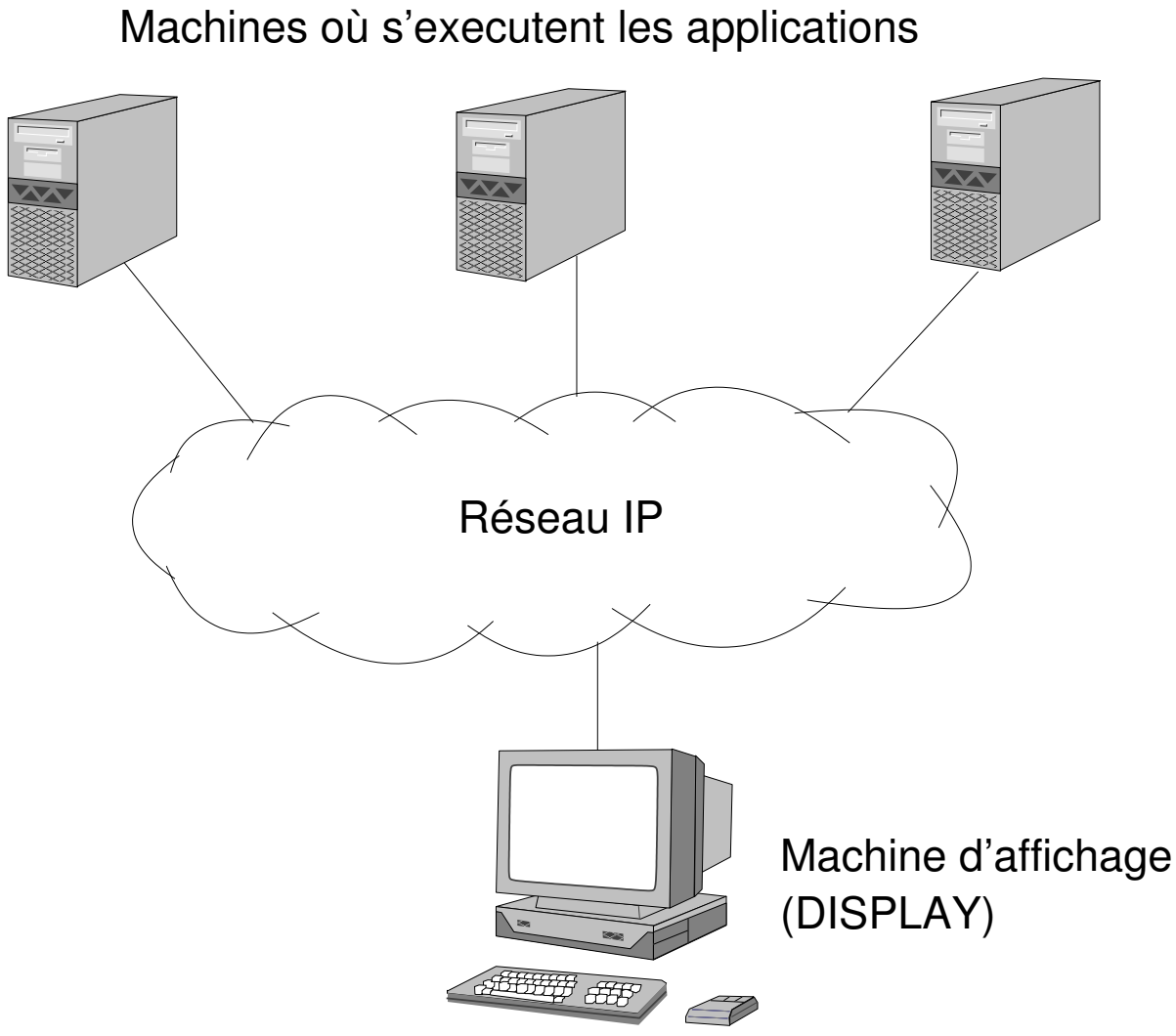
Étape III : le processus commence l'exécution de son nouveau code. Il ne peut y avoir retour à l'ancien code

On remarquera qu'un élément a résisté à l'envahisseur... Il s'agit du tableau des variables d'environnement qui n'a pas été altéré. Il est néanmoins possible de remplacer ce tableau par un nouveau.

Le principe du Shell




client
machine
distante
réseau
client
protocole X
application
client
poste local
driver
Serveur
X
driver
driver


Machines où s'executent les applications
Réseau IP
Machine d'affichage
(DISPLAY)

- Toute application X peut s'exécuter sur une machine et s'afficher sur une autre
- La machine d'affichage est indiquée dans une option (`-display`) ou une variable d'environnement (`DISPLAY`)
  - Exemples :
  - `$ xterm -display lune:0.0`
  - `$ export DISPLAY=lune:0.0`
  - `$ xterm`
  - format du `display` : *adresseOuNomMachine*:*numServ*.*numEcran*

- Par défaut il n'est pas possible d'afficher des fenêtres sur un «display» utilisé par un autre utilisateur si celui-ci n'a pas donné l'autorisation
- Les autorisations sont possibles avec la commande `xhost`
  - `xhost +terre`
  - autorise les «connexion graphiques» depuis la machine `terre`
  - ➔ authentification par adresse IP
- Autorisations avec la commande `xauth`
  - plus complexe mais plus *sûr*
  - fichier `.Xauthority`
  - ➔ autentifie un utilisateur (qui doit posséder le bon *cookie* de 128 bits)

- Le serveur X sait gérer l'affichage mais il ne sait pas quoi ni comment afficher !
  - ce sont les applications qui l'informent via le protocole X
  - des librairies applicatives pour dessiner boutons, menu, assenceurs, etc. (*graphic toolkits*)
- Le serveur X reçoit tous les événements clavier et souris
  - il informe alors les applications de l'événement si celles-ci ont demandé qu'il leur soit envoyé
  - les applications traitent l'événement et décident de ce qu'il faut faire, elles demandent éventuellement des modifications d'affichage au serveur

X-Window - Une application très particulière

- Le gestionnaire de fenêtre ou *Window Manager*
  - le serveur X **ne sait pas gérer** les fenêtres
  - application spécifique nécessaire : **Window Manager**
    - permet de déplacer, iconifier, restaurer, supprimer les fenêtres et aussi modifier leur taille
    - offre des menus de fond d'écran
  - Les Window Managers existent en grand nombre
  - Les applications sont normalement compatibles avec tous les Window Managers (vœu pieux !)