Laboratoire Méthodes Formelles

CentraleSupélec | université PARIS-SACLAY

LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION

MANIPULATION DES PROCESSUS SOUS UNIX/LINUX

🎓 3A - Cursus Ingénieurs - Dominante Informatique et Numérique
🏛 CentraleSupelec - Université Paris-Saclay - 2025/2026

Idir AIT SADOUNE
idir.aitsadoune@centralesupelec.fr

PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

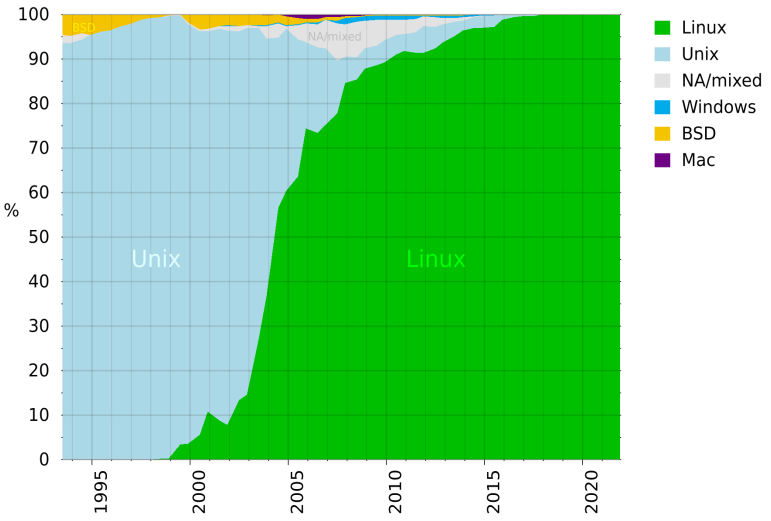
PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

LES OS UNIX/LINUX

- Un **système d'exploitation** est un ensemble de **programmes informatiques** servant d'**interface** entre le matériel et les applications/utilisateurs.
  - **ex.** : **Windows** (..., XP, 7, ...,10, 11), famille **Unix** (**Linux**, **Mac-OS**, ...).

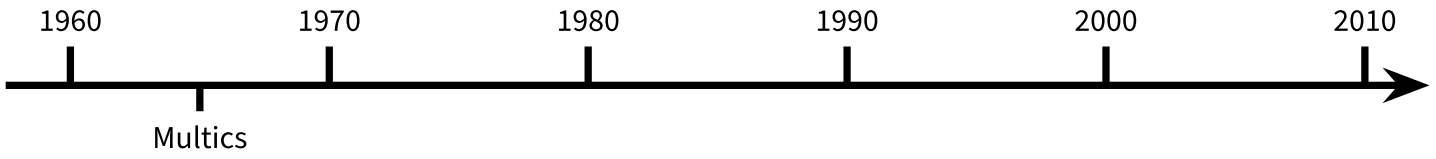
- **Linux** (ou **GNU/Linux**) est un **OS** open source de type **Unix**
  - équipe une très faible part des ordinateurs personnels - **PC**



- **Linux** domine dans le calcul intensif
  - 100% des calculateurs du TOP 500
    → Classement 2020
  - largement utilisé sur les serveurs, téléphones mobiles, systèmes embarqués, les superordinateurs, ...

L'HISTORIQUE D'UNIX

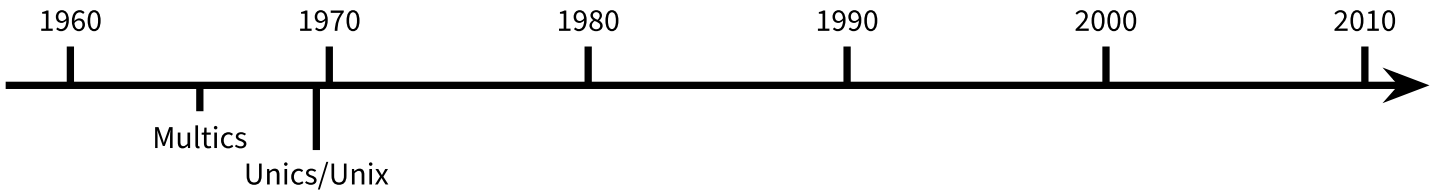
L'HISTORIQUE D'UNIX



MULTICS

- **MULT**iplexed **I**nformation and **C**omputing **S**ervice
- laboratoires **Bell**, **MIT**, **General Electric**
- temps partagé, multi-utilisateurs
- système de fichier hiérarchique, segmentation et mémoire virtuelle
- système d'invite de commande, contrôle par un terminal distant

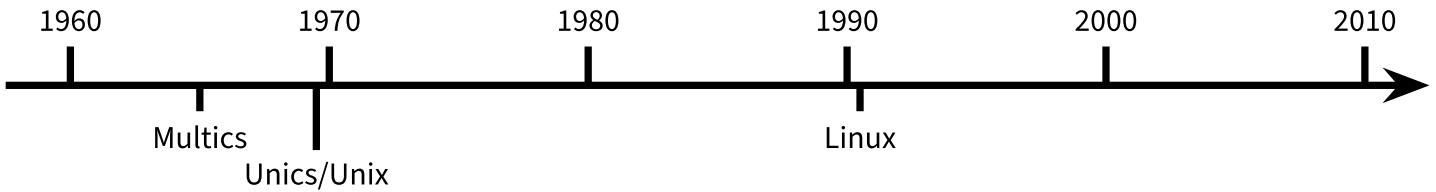
L'HISTORIQUE D'UNIX



UNICS or **UNIX**

- **UN**iplexed **I**nformation and **C**omputing **S**ervice
- **Ken Thompson**, laboratoires **Bell**
- portable, multi-tâches, multi-utilisateurs
- système d'invite de commande utilisant le système de pipes
- principes publiés dans **The Unix Programmer's manual** en 1971

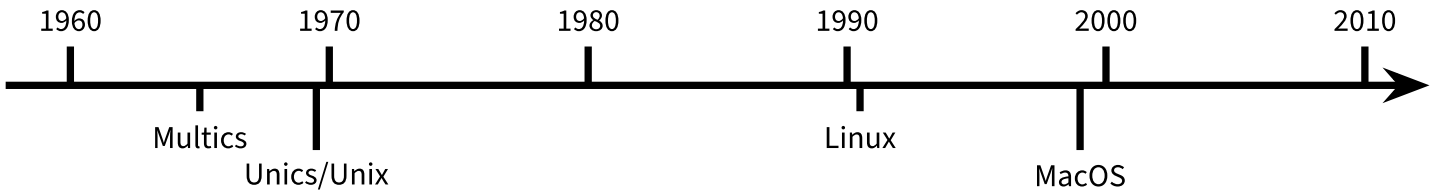
L'HISTORIQUE D'UNIX



Linux ou **GNU/Linux**

- créé en 1991 par Linus Torvalds
- basé sur Minix un clone d'**Unix** fondé sur un micro-noyau.
- noyau open-source publié sous licence GNU GPL
- plusieurs distributions : Debian, Fedora, Ubuntu, ...
- le **shell Unix** est toujours disponible, quelle que soit la distribution.

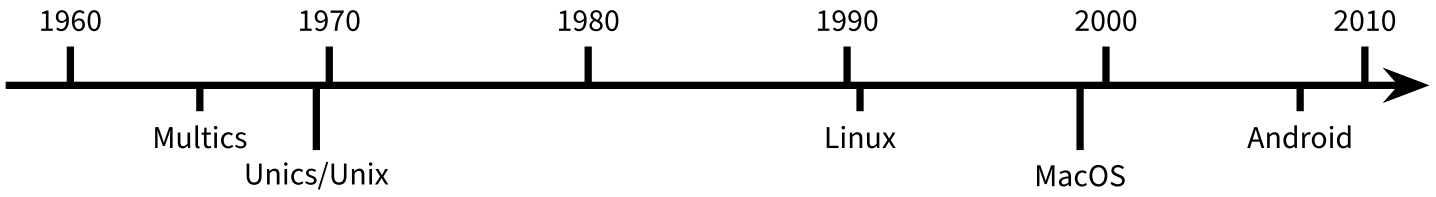
L'HISTORIQUE D'UNIX



MacOS

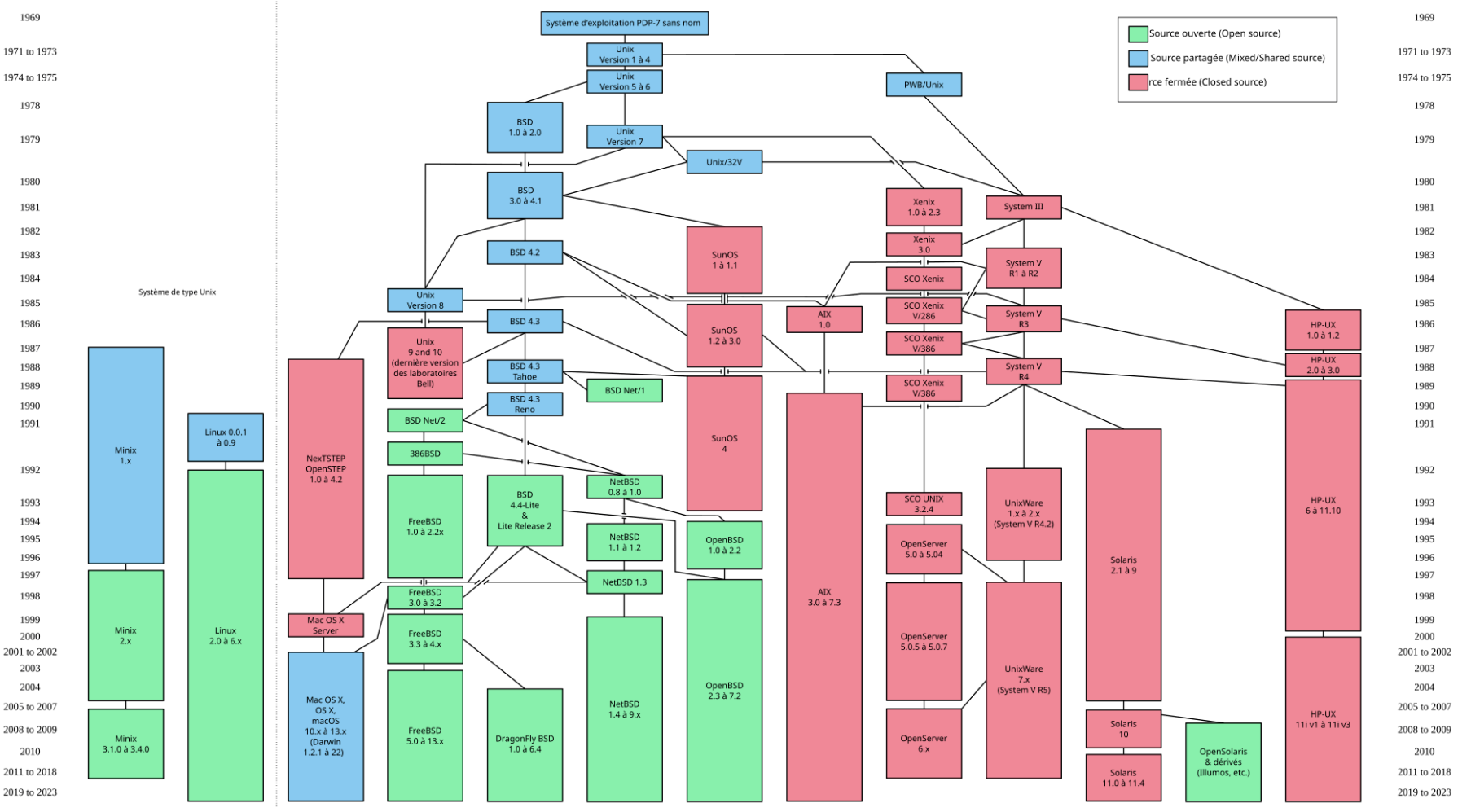
- un OS partiellement propriétaire annoncé par **Apple** en 1998
- destiné exclusivement aux matériels de Macintosh/Mac
- son noyau **XNU** est un noyau hybride compatible avec la norme POSIX.
- fondé sur le noyau Mach et sur l'implémentation BSD d'**Unix**
- les versions successives de **MacOS** ont reçu la certification **Unix**

L'HISTORIQUE D'UNIX



Android

- un **OS mobile** open source fondé sur le noyau **Linux**
- il a été lancé en 2007 pour les smartphones et les tablettes
- défini comme étant une pile de logiciels comprenant un noyau **Linux**
- l'**OS mobile** le plus utilisé (plus de 70% de tous les appareils mobiles)
- la version **Android TV** est embarquée dans des télévisions, box TV, ...


Source ouverte (Open source)
Source partagée (Mixed/Shared source)
rce fermée (Closed source)
1969
1971 to 1973
1974 to 1975
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001 to 2002
2003
2004
2005 to 2007
2008 to 2009
2010
2011 to 2018
2019 to 2023
Système de type Unix
Minix 1.x
Minix 2.x
Minix 3.1.0 à 3.4.0
Linux 0.0.1 à 0.9
Linux 2.0 à 6.x
Système d'exploitation PDP-7 sans nom
Unix Version 1 à 4
Unix Version 5 à 6
Unix Version 7
PWB/Unix
Unix/32V
BSD 1.0 à 2.0
BSD 3.0 à 4.1
BSD 4.2
BSD 4.3
BSD 4.3 Tahoe
BSD 4.3 Reno
Unix Version 8
Unix 9 and 10 (dernière version des laboratoires Bell)
BSD Net/1
BSD Net/2
386BSD
FreeBSD 1.0 à 2.2x
FreeBSD 3.0 à 3.2
FreeBSD 3.3 à 4.x
FreeBSD 5.0 à 13.x
BSD 4.4-Lite & Lite Release 2
DragonFly BSD 1.0 à 6.4
NetBSD 0.8 à 1.0
NetBSD 1.1 à 1.2
NetBSD 1.3
NetBSD 1.4 à 9.x
OpenBSD 1.0 à 2.2
OpenBSD 2.3 à 7.2
SunOS 1 à 1.1
SunOS 1.2 à 3.0
SunOS 4
AIX 1.0
AIX 3.0 à 7.3
Xenix 1.0 à 2.3
Xenix 3.0
SCO Xenix
SCO Xenix V/286
SCO Xenix V/386
SCO UNIX 3.2.4
OpenServer 5.0 à 5.04
OpenServer 5.0.5 à 5.0.7
OpenServer 6.x
System III
System V R1 à R2
System V R3
System V R4
UnixWare 1.x à 2.x (System V R4.2)
UnixWare 7.x (System V R5)
Solaris 2.1 à 9
Solaris 10
Solaris 11.0 à 11.4
OpenSolaris & dérivés (Illumos, etc.)
HP-UX 1.0 à 1.2
HP-UX 2.0 à 3.0
HP-UX 6 à 11.10
HP-UX 11i v1 à 11i v3
NexTSTEP OpenSTEP 1.0 à 4.2
Mac OS X Server
Mac OS X, OS X, macOS 10.x à 13.x (Darwin 1.2.1 à 22)

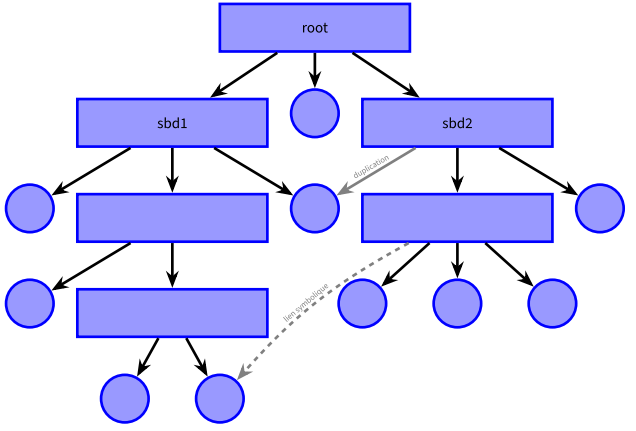
CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME UNIX

- **Multi-tâches** (concurrentes et indépendantes)
- **Multi-utilisateurs** (dont l'administrateur ou le root)
  - système d'identification et droits d'accès aux fichiers
- **Chaînage** des processus par les tubes (**pipes**)
  - composition d'outils élémentaires pour des tâches complexes
- **Shell** est l'interface utilisateur du système d'exploitation.
  - bash : **B**ourne **A**gain **SH**ell (sh : shell historique de **Bourne**)
- L'interpréteur de commandes (**Shell**) intègre **un langage de programmation** (variables, structures de contrôle, fonctions ...)
  - **programmes interprétés** = fichiers de commandes = **shell-scripts**
  - création de commandes par l'utilisateur

LE SYSTÈME DE FICHIERS D'UNIX

Vu par l'utilisateur, le **système de fichier** d'**Unix** est structuré hiérarchiquement en un arbre unique constitué de :

- **noeuds** : répertoires (directories, dossiers ou folders sous **Windows**),
  - contiennent d'autres répertoires et des fichiers
- **feuilles** : fichiers (files),
  - des récipients contenant des données
  - les périphériques apparaissent également comme des fichiers



Découverte et manipulation à l'occasion du **TP 1**

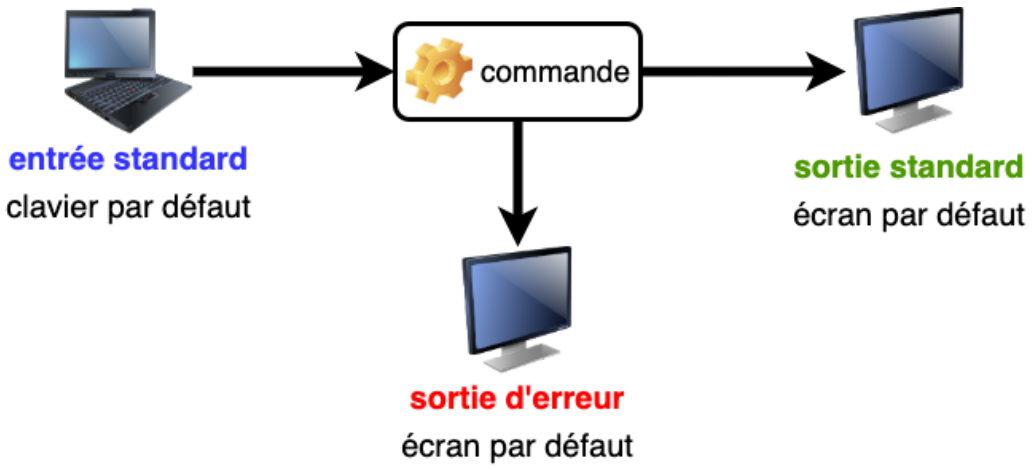
PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

LES FLUX STANDARD

- En **Unix**/**Linux**, toute commande manipule trois flux **standards** :

  1. entrée standard (`stdin`, num = `0`) → données envoyées vers la commande
  2. sortie standard (`stdout`, num = `1`) → résultats produits par la commande
  3. sortie d'erreur (`stderr`, num = `2`) → messages d'erreur produits par la commande



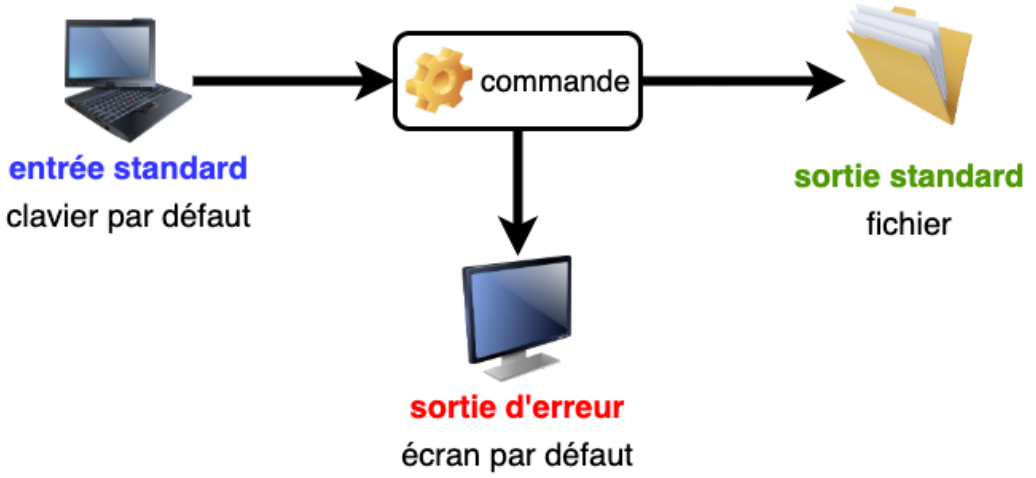
LA REDIRECTION

- Au lieu d'une saisie au clavier et d'un affichage à l'écran, stocker de façon permanente les informations d'entrée ou de sortie.
  ➠ **rediriger les flux standards** à partir ou vers des fichiers.

- Combiner des commandes pour effectuer des traitements complexes
  ➠ **rediriger les flux standards** à partir ou vers d'autres commandes.

- **Grande souplesse** et puissance du système **Unix**.

REDIRECTION VERS UN FICHIER



Un nouveau fichier est créé avec le contenu de la sortie

```
$ commande > fichier
```

La sortie est ajoutée à la fin d'un fichier existant

```
$ commande >> fichier
```

REDIRECTION VERS UN FICHIER

EXEMPLES

Le contenu du dossier courant dans un fichier

```
$ ls -l > liste.txt
```

Les 10 premières puis les 10 dernières lignes

```
$ head liste.txt > copy-liste.txt
$ tail liste.txt >> copy-liste.txt
```

La liste des fichiers sources Java, puis celle des fichiers sources C

```
$ ls *.java > new-liste.txt
$ ls *.c >> new-liste.txt
```

REDIRECTION VERS UN FICHIER

REMARQUE

✘ **Attention** → le **shell** interprète très tôt les redirections

➠ ne pas rediriger la sortie vers le fichier d'entrée

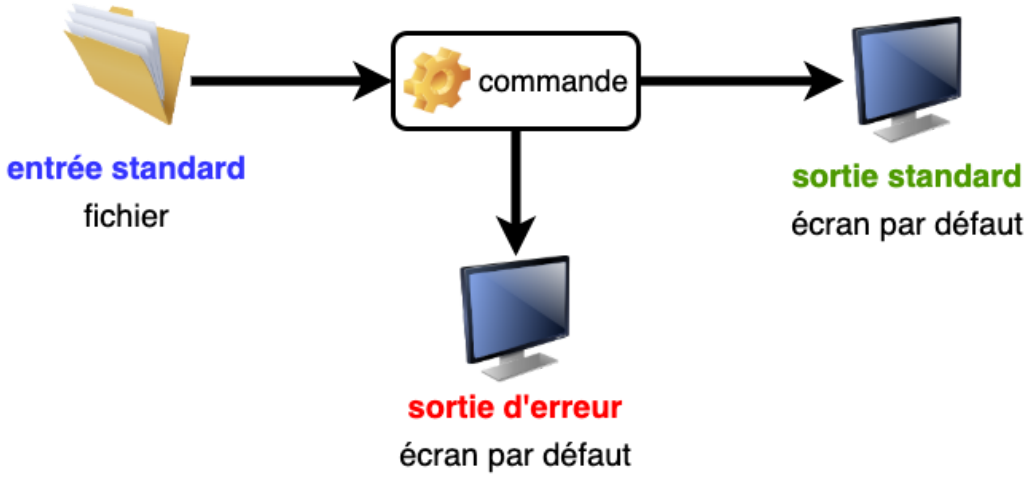
```
$ cat -n fichier.txt > fichier.txt
```

✔ **Solution**

➠ utiliser un fichier tampon

```
$ cat -n fichier.txt > tmp ; mv tmp fichier.txt
```

ENTRÉE DEPUIS UN FICHIER



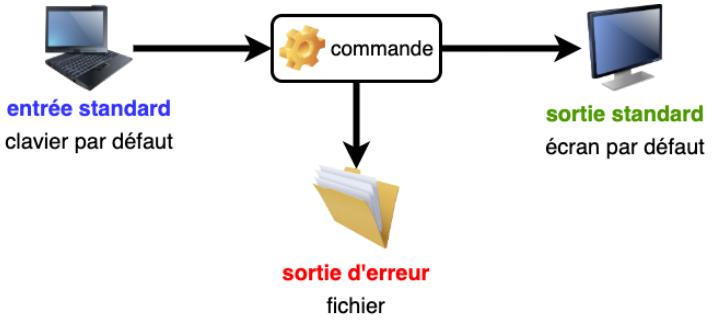
Le fichier doit exister au préalable

```
$ commande < fichier
```

Exemple → lecture des données d'entrée d'un script depuis un fichier

```
$ ./trier.sh < entrees.txt
```

LA SORTIE D'ERREURS VERS UN FICHIER



Un fichier est créé avec le contenu de la sortie d'erreurs

```
$ commande 2> fichier
```

La sortie d'erreurs est ajoutée à la fin d'un fichier existant

```
$ commande 2>> fichier
```

Exemple → sauvegarde des diagnostics d'une compilation

```
$ gcc programme.c 2> erreurs.txt
```

REGROUPEMENT DES FLUX

affiche à la console **le contenu de** `fichier_existant` et un **message d'erreur**

```
$ cat fichier_existant fichier_inexistant
```

affiche à la console un **message d'erreur**

```
$ cat fichier_existant fichier_inexistant > fichier.txt
```

n'affiche plus rien

```
$ cat fichier_existant fichier_inexistant > fichier.txt 2>&1
```

QUELQUES FICHIERS SPÉCIAUX

- Le répertoire dev contient des **fichiers spéciaux** gérant les **flux** entre l'**UC** et les périphériques (terminaux, imprimantes, disques, ...)

- `/dev/tty` : le terminal attaché à la connexion

```
$ tty
/dev/ttys000
```

- `/dev/null` : fichier **poubelle** (vide) ou trou noir !
- **Exemple** → empêcher le flux d'erreur de s'afficher à l'écran.

```
$ commande 2> /dev/null
```

PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

SYNCHRONISATION DE PROCESSUS

Deux méthode pour **synchroniser deux processus** :

1. **Méthode séquentielle** avec fichier intermédiaire

```
$ cmd_1 > fichier
$ cmd_2 < fichier
$ rm fichier
```

2. **Traitement à la chaîne** en connectant les deux processus par un **Pipe**

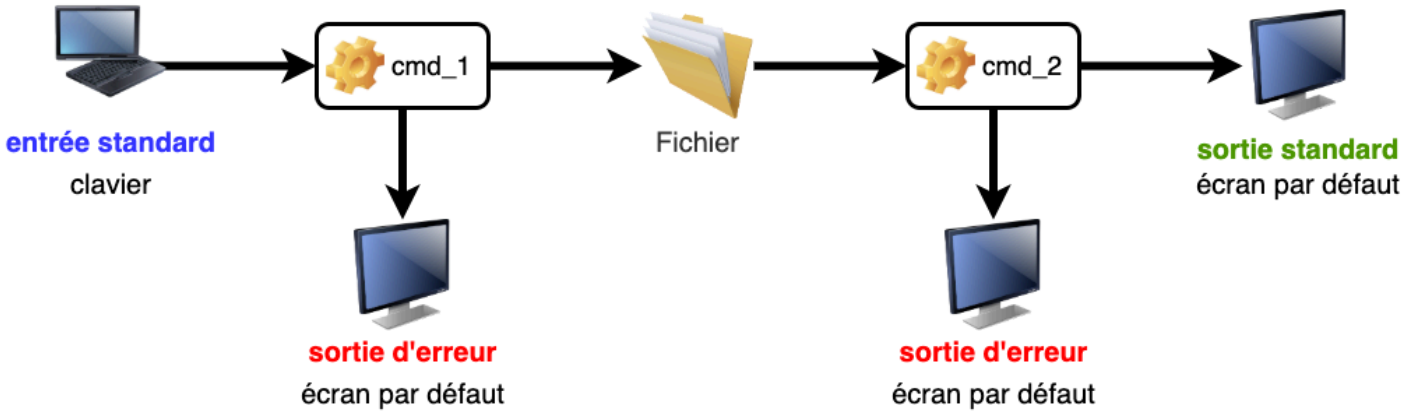
```
$ cmd_1 | cmd_2
```

- zone mémoire
- communication synchronisée entre les 2 processus
- plus rapide que le traitement séquentiel

MÉTHODE SÉQUENTIELLE

Méthode séquentielle avec fichier intermédiaire

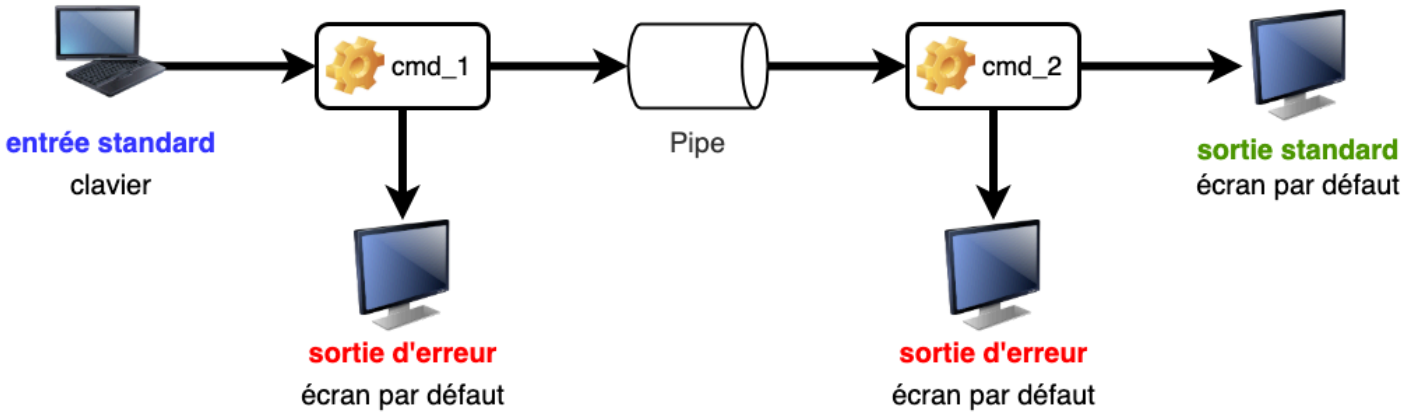
```
$ cmd_1 > fichier
$ cmd_2 < fichier
$ rm fichier
```



CHAÎNAGE AVEC TUBE

Traitement à la chaîne en connectant les deux processus par un **Pipe**

```
$ cmd_1 | cmd_2
```



CHAÎNAGE AVEC TUBE

EXEMPLE I

Affichage paginé de la liste des fichiers du répertoire courant

1. Exemple utilisant la méthode séquentielle

```
$ ls -l > liste.txt
$ more liste.txt
$ rm liste.txt
```

2. Exemple utilisant le chaînage avec tube

```
$ ls -l | more
```

CHAÎNAGE AVEC TUBE

EXEMPLE II

Affichage de la 12e ligne du fichier `toto.txt`

1. Exemple utilisant la méthode séquentielle

```
$ head -n 12 toto.txt > tmp
$ tail -n 1 tmp
$ rm tmp
```

2. Exemple utilisant le chaînage avec tube

```
$ head -n 12 toto.txt | tail -n 1
```

CAS DE PLUSIEURS REDIRECTIONS

Avec une seule commande, l'ordre des redirections est indifférent

```
$ commande < entree > sortie
```

```
$ commande > sortie < entree
```

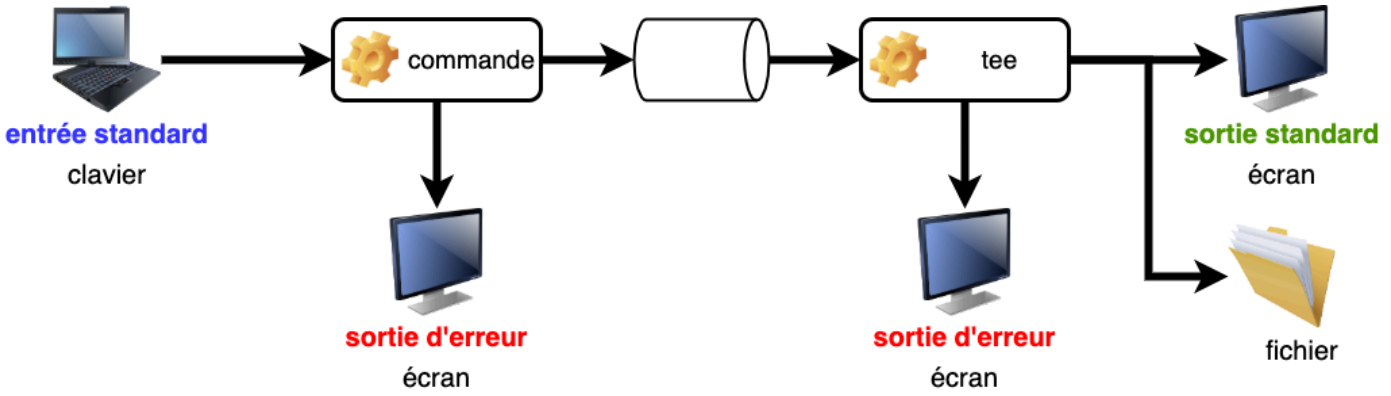
Avec deux commandes et un tube, ne pas détourner le flux

```
$ commande_1 < entree | commande_2 > sortie
```

DUPLICATION DE FLUX

La commande `tee` duplique le flux de son entrée standard vers le fichier passé en argument et la sortie standard.

```
$ commande | tee fichier
```



Exemple → conserver une trace du résultat intermédiaire d'un tube

```
$ cmd_1 | tee f_intermediaire | cmd_2
```

PLAN

- Les systèmes Unix/Linux
- La redirection et la gestion de flux
- La synchronisation avec les pipes
- Les expressions régulières/rationnelles
- La gestion des processus
- La Synthèse

Retour au plan - Retour à l'accueil

EXPRESSIONS RÉGULIÈRES OU RATIONNELLES

Recherche de chaînes de caractères correspondant à un pattern.

- syntaxe particulière pour décrire des motifs génériques (**expression régulière** ou **rationnelle**)
- utilisées par les éditeurs **ex**, **vi** et **sed**, les filtres `grep` et `awk`, ainsi que les langages **perl**, **Python**, **php**, **JavaScript** ...

LES CARACTÈRES SPÉCIAUX

.	représente **un caractère quelconque** et un seul
\	sert à **protéger le caractère qui le suit** pour empêcher qu'il ne soit interprété
*	représente **un nombre d'occurrences quelconque** (zéro ou plus) du caractère ou de la sous-expression qui précède

Remarque

ne pas les confondre avec les **wildcards** (* et ?), utilisés pour les **noms de fichiers**, qui sont interprétés par le **Shell**.

LES CARACTÈRES SPÉCIAUX

EXEMPLES

*a**	un nombre quelconque de fois le caractère *a* y compris une chaîne vide
*aa**	un ou plusieurs fois le caractère *a*
`.*`	un nombre quelconque de caractères quelconques y compris une chaîne vide
`..*`	au moins un caractère
`\..*`	un point suivi d'un nombre quelconque de caractères
`\\*`	un nombre quelconque (y compris zéro) de backslash

LES ANCRES

Les ancres (**anchor**) permettent de spécifier qu'un motif est situé en début ou en fin de ligne.

^	en début de motif, représente le début de ligne
$	en fin de motif, représente la fin de ligne

LES ANCRES

EXEMPLES

`^a`	une ligne commençant par un `a`
`^a.*b`	une ligne commençant par le template `a.*b`
`^$`	une ligne vide
`^.*$`	une ligne quelconque, y compris vide
`^..*$`	une ligne non vide

ENSEMBLE DE CARACTÈRES

- Un et un seul caractère choisi parmi un ensemble de caractères spécifiés entre crochets : `[ensemble_de_caracteres]`
- À l'intérieur d'un tel ensemble, les caractères spéciaux sont :
  `[-]` : utilisé pour définir des intervalles
  `[^]` : en tête pour spécifier le complémentaire de l'ensemble
  `[]]` : délimite la fin de l'ensemble, sauf s'il est placé au début
- On peut faire référence à des **classes de caractères**
  `[:lower:]`, `[:upper:]`, `[:alpha:]`, `[:digit:]`, `[:alnum:]`

ENSEMBLE DE CARACTÈRES

EXEMPLES

`[a0+]`	un des caractères `a`, `0` ou `+`
`[a-z]`	une lettre minuscule
`[a-z:;?!]`	une lettre minuscule ou une ponctuation double
`[0-9]`	un chiffre
`[^0-9]`	n'importe quel caractère qui n'est pas un chiffre
`[]-]`	un `]` ou un signe `-`
`[[:digit:]]`	au lieu de `[0-9]`
`[-+.[:digit:]]`	un chiffre, un `.`, un `+` ou `-`

LE FILTRE grep

- grep : global regular expression print
- affiche les lignes qui contiennent un motif passé en paramètre

```
$ grep [options] motif [liste_de_fichiers]
```

où motif est **une expression régulière**

- **Principales options** :
  - -i : ignore la casse (majuscule/minuscule)
  - -v : inverse la sélection (affiche les lignes sans le motif)
  - -l : la liste des fichiers contenant le motif
  - -n : les lignes contenant le motif précédées de leur numéro
  - -c : les noms des fichiers et le nombre de lignes qui contiennent le motif

LE FILTRE grep

EXEMPLES

affiche la ligne de l'utilisateur `lefrere` dans le fichier de mots de passe

```
$ grep lefrere /etc/passwd
```

affiche les lignes commençant par `//` (commentaires)

```
$ grep '^//' application.java
```

affiche les lignes qui ne sont pas des commentaires

```
$ grep -v '^ *//' application.java
```

affiche la liste des sous-répertoires du répertoire courant

```
$ ls -l | grep ^d
```

PLAN

- Les systèmes Unix/Linux
- La redirection et la gestion de flux
- La synchronisation avec les pipes
- Les expressions régulières/rationnelles
- La gestion des processus
- La Synthèse

Retour au plan - Retour à l'accueil

GÉNÉRALITÉS

- **Processus** → tâche élémentaire identifiée par un numéro (pid - process identifier)
- `ps` afficher les processus de l'utilisateur associés au terminal

```
$ ps [options]
```

- **Principales options** :
  - `-e` → affiche tous les processus de tous les utilisateurs
  - `-U user_list` → sélectionne les processus appartenant à cette liste
  - `-f` → affiche une liste complète d'informations sur chaque processus
- Principales informations affichées par `ps` :

UID	PID	PPID	TTY	VSZ	CMD
user id	processus id	parent id	terminal	taille	commande

- Affichage interactif des processus avec la commande `top`

```
$ top
```

CONTRÔLE ET SIGNAUX

Caractères de contrôle (`Ctrl ^`) interprétés par le **shell**

- gestion des processus attachés au terminal et des flux d'E/S

`Ctrl L`	clear	efface l'écran
`Ctrl S`	stop	blocage de l'affichage à l'écran
`Ctrl Q`	start	déblocage de l'affichage à l'écran
`Ctrl D`	eof	fermeture du flux d'entrée (fin de session en shell)
`Ctrl C`	int	interruption du processus
`Ctrl Z`	susp	suspension du processus en cours

- La commande `stty` affiche les fonction des **caractères de contrôle**.

```
$ stty -a
```

- **Un caractère de contrôle** ne peut agir que sur le processus en interaction avec le terminal auquel il est attaché.

LA COMMANDE `kill`

- Intervenir sur un autre **processus** (**ex.** application qui ne répond plus)
  - ➠ le désigner par son numéro et lui **envoyer un signal**
- `kill` envoie par défaut **un signal de terminaison**

```
$ kill -s TERM pid
```

- sinon **un signal de mise à mort**

```
$ kill -s KILL pid
```

PROCESSUS EN ARRIÈRE PLAN

Système **UNIX** multi-tâches :

- commandes longues non-interactives en arrière-plan (**tâche de fond**)
- **garder la main** pour d'autres commandes (mode **asynchrone**)

```
$ commande &
```

Gestion des processus en arrière-plan :

`jobs`	affiche la liste des processus en arrière-plan
`fg`	passe le job courant en premier plan
`fg num`	passe le job `num` en premier plan
`bg`	passe le job courant en arrière-plan

PROCESSUS EN ARRIÈRE PLAN

EXEMPLES

- `top` **au premier plan**
  - on perd la main dans la fenêtre initiale

```
$ top
```

  - terminer ce processus par `ctrl C`
- `top` **en arrière plan**
  - on conserve la main dans la fenêtre initiale

```
$ top &
```

  - terminer le processus `top` par `fg` puis `ctrl C` ou par `kill -s` suivi de `KILL pid`

Remarque : si on a oublié le `&`, on utilise `ctrl Z` pour suspendre le processus, puis `bg` pour le passer en arrière-plan

CODE DE RETOUR

Toute commande **UNIX** renvoie **un code numérique** en fin d'exécution

- valeur de retour (**cf.** `exit()` dans `main` en **C**)
- statut de fin (`return status`) accessible via `$?`

✔ **Code de sortie $= 0$** $\longrightarrow$ la commande s'est **bien déroulée**

```
$ cd /bin
$ echo $?
0
```

✘ **Code de sortie $\neq 0$** $\longrightarrow$ la commande s'est **mal déroulée**

```
$ cd /introuvable
$ echo $?
1
```

COMBINAISON DE COMMANDES

```
$ cmd_1 && cmd_2
```

- La première commande est exécutée.
- Si elle réussit (`$? = 0`), la seconde commande est exécutée.

- **Exemple** $\longrightarrow$ Si la compilation d'un code source **Java** s'effectue sans erreurs, alors on lance son exécution.

```
$ javac Application.java && java Application
```

PLAN

- Les systèmes Unix/Linux
- La redirection et la gestion de flux
- La synchronisation avec les pipes
- Les expressions régulières/rationnelles
- La gestion des processus
- La Synthèse

Retour au plan - Retour à l'accueil

CE QU'IL FAUT RETENIR

- **Unix** est un OS multi-tâches, multi-utilisateurs
- **Unix** est à la base de plusieurs OS modernes
- Le **shell bash** est une interface utilisateur utilisant un interpréteur de commandes
- Une grande souplesse et une puissance basées sur la redirection et le **Pipe**
- Mécanisme de recherche basé sur les expressions régulières
- Commandes de gestion et de synchronisation des processus

MERCI

Version PDF des slides

Retour à l'accueil - Retour au plan