Programmation Système : introduction, généralités...

V. Risch

IUT, Aix-Marseille Univ., 2018

Remerciements à A. Dragut, J.-L. Massat

Plan général du cours

Idée : parcourir les principes qui sous-tendent un système d'exploitation de type UNIX/LINUX au travers des possibilités existantes de Programmation Système...

Plan général du cours

Idée : parcourir les principes qui sous-tendent un système d'exploitation de type UNIX/LINUX au travers des possibilités existantes de Programmation Système...

Plan

1. Cette introduction
2. Système de gestion de fichiers
3. Signaux
4. Processus
5. IPC
6. ...

Plan général du cours

Idée : parcourir les principes qui sous-tendent un système d'exploitation de type UNIX/LINUX au travers des possibilités existantes de Programmation Système...

Plan

1. Cette introduction
   - Catégories de systèmes
   - UNIX/LINUX, généralités
   - Le principe de la commutation de contexte
   - Commandes UNIX/LINUX
   - Outils pour les TPs
2. Système de gestion de fichiers
3. Signaux
4. Processus
5. IPC
6. ...

Bibliographie

- Richard W. Stevens. *Advanced Programming in the Unix Environment.* Addisson-Wesley, 2013.
- Michael Kerrisk. *The Linux Programming Interface : A Linux and UNIX System Programming Handbook.*, No Starch Press, 2010
- Graham Glass. *Unix for Programmer and Users.* Prentice Hall, 1993.
- Joëlle Delacroix. *Linux, Programmation système et réseau.* Dunod, 2003

Catégories de systèmes...

Définition... ?

Pas de définition universellement acceptée... Globalement, un *système d'exploitation* est un ensemble de programmes qui sert à

- *faire fonctionner le matériel*
- *maintenir un espace virtuel*

Définition... ?

Pas de définition universellement acceptée... Globalement, un *système d'exploitation* est un ensemble de programmes qui sert à

- *faire fonctionner le matériel*
  - comme ≪ allocateur ≫ de ressources
  - comme gestionnaire de ressources avec un minimum de sécurité
- *maintenir un espace virtuel*

Définition... ?

Pas de définition universellement acceptée... Globalement, un *système d'exploitation* est un ensemble de programmes qui sert à

- *faire fonctionner le matériel*
  - comme ≪ allocateur ≫ de ressources
  - comme gestionnaire de ressources avec un minimum de sécurité
    - arbitrer dans les cas conflictuels
    - superviser/contrôler l'exécution des programmes
    - prévenir les erreurs et toute utilisation non-conforme
- *maintenir un espace virtuel*

Catégories

On distingue

- SE « classiques »
- SE spécialisés
  - industriels - ex : gestion de chaînes de production
  - applications dédiées - ex : caisses enregistreuses
- servant à l' interrogation de grandes bases de données (bibliothèques, banques, hôpitaux,...)
- transactionnels (réservations aériennes, ...)

Catégories...

- embarqués (borne SNCF, distributeur de billets, terminal d'encaissement...)
- miniaturisés (téléphone cellulaire, lecteur MP3, ...)
- opérant en conditions extrêmes (plateformes pétrolières, sous-marins robotisés, ...)
- extrêmement robustes et sécurisés (centrales nucléaires, TGV, postes de commande de base militaire, objet volants à peu près identifiés, ...)

Suites logicielles

Les SE sont composés de suites de logiciels pour

- *effectuer/coordonner/sécuriser* l'accés aux ressources partagées (CPU, mémoire, ...)
- *piloter* des périphériques
- *organiser et retrouver* les données en mémoire de masse
- réaliser une bonne *interaction* homme-machine (interfaces graphiques, texte, ...) et machine-machine (réseaux)

Composantes d'un SE

Les principales composantes d'un SE sont :

- le *noyau* - partie centrale du SE contrôlant la plupart des ressources importantes
- des *modules* - étendant les fonctionnalités du noyau

D'autre composantes :

- *shells* - permettant le dialogue humain-SE
- systèmes graphiques d'affichage
- gestionnaires de fenêtres

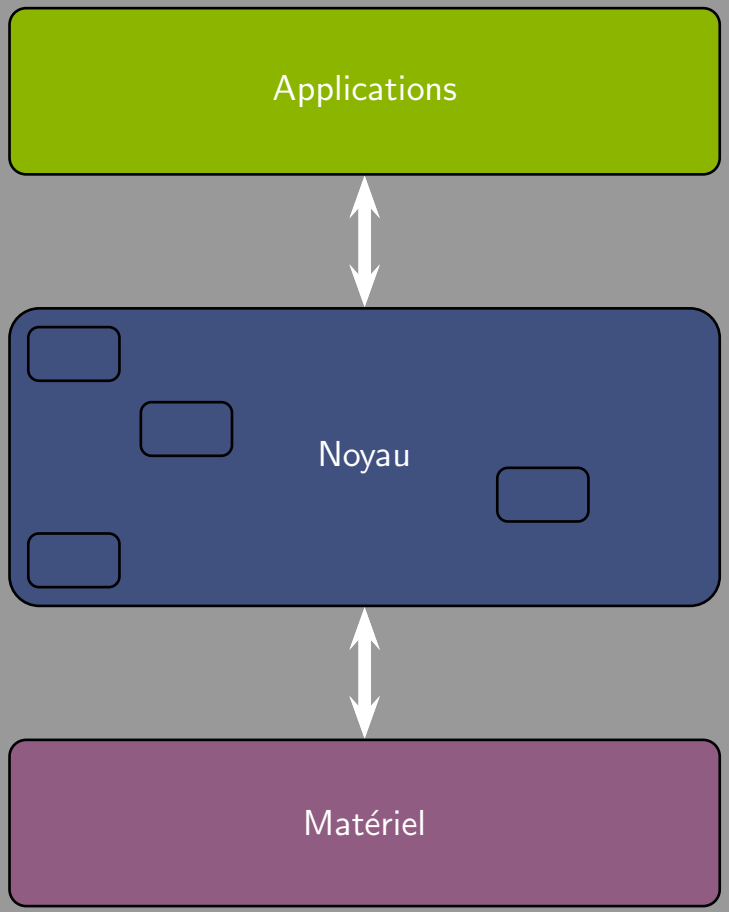
Architectures de noyau

Il existe différentes architectures possibles :

- *noyaux monolithiques*
  - non-modulaires
  - modulaires
- *micro-noyaux*
- *hybrides*
- *exo-noyaux*

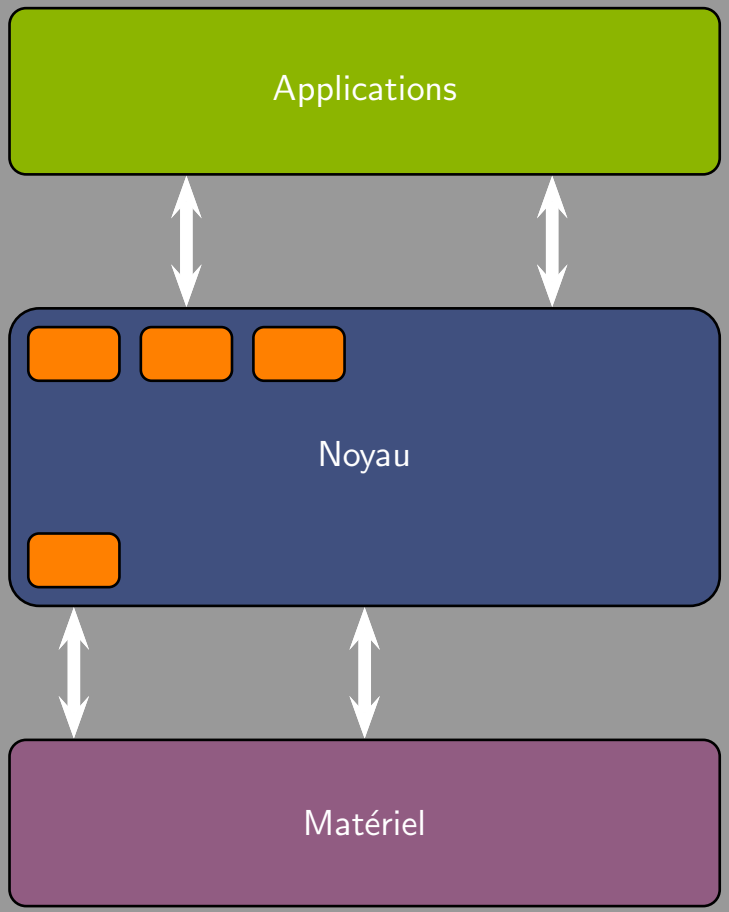
Architecture monolithique non-modulaire

La totalité du noyau réside en permanence en mémoire vive



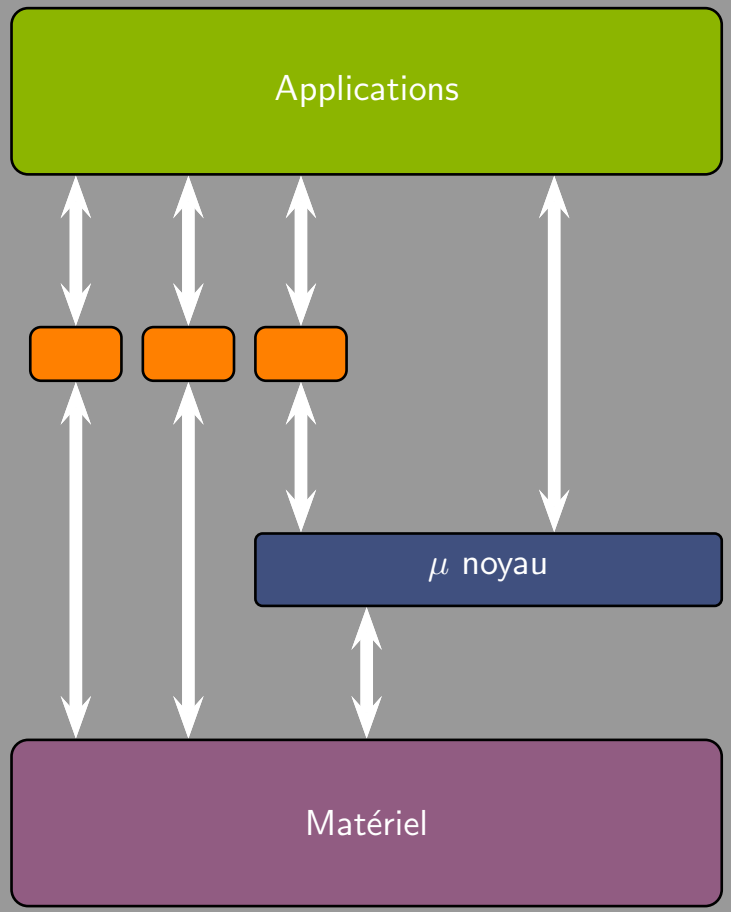
Architecture monolithique modulaire

Les modules, séparés, sont chargés dynamiquement



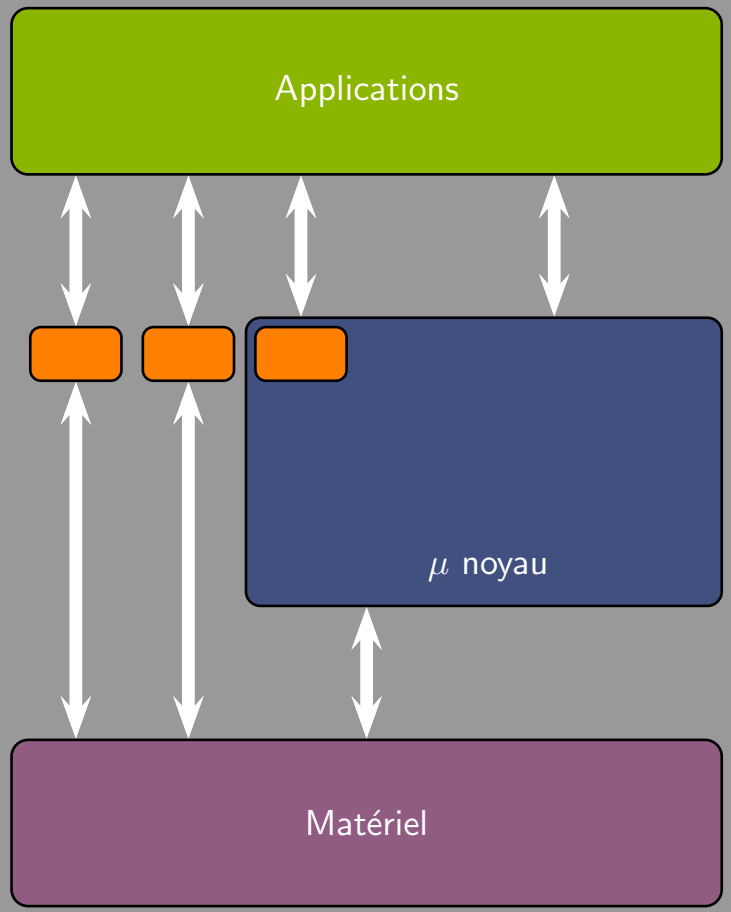
Micro-noyau

Seules les fonctions fondamentales sont conservées dans le noyau...



Noyau hybride

Tentative de compromis entre légèreté et efficacité



UNIX/LINUX, généralités

Historique

1964 Projet *Multics* de S.E. multi-tâche (MIT, General Electric, Bell Labs d'AT&T)

1969 Ken Thompson et Denis Ritchie (Bell Labs) écrivent un S.E. multi-tâche sur un ordi de récupération (DEC PDP 7 de 1964)

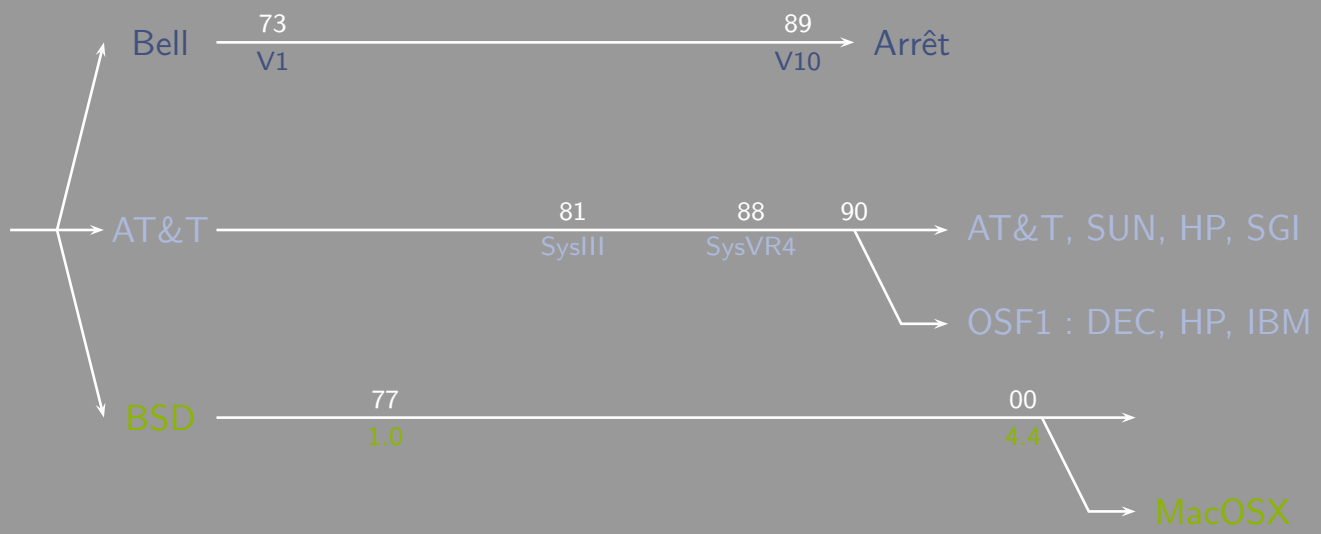
1970-71 V1 : Réécriture sur PDP11 (16 bits, 24K Ram, 512K DD) Ken Thomson crée le langage B (inspiré de *BCPL*) et réécrit Unix

1970-71 Denis Ritchie crée le langage *C* (inspiré de *B*) V2 : Ken Thomson réécrit entièrement Unix en C ;

les sources sont fournies à : Bell ; AT&T ; Univ. Californie à Berkeley

→ *3 branches principales de développement.*

Branches principales d'UNIX



Historique complet et documents, voir `http://www.levenez.com`

Ces systèmes sont *propriétaires*, et *chers* d'où l'émergence d'un mouvement pour les logiciels *libres* (Richard Stallman) :

- Free Software Foundation
- Projet GNU $\rightarrow$ réécriture d'UNIX
- Licences GPL, CC, ...

Le noyau LINUX

- Le noyau LINUX contient 20 323 379 lignes de code en 2018 : il s'agit du projet libre qui en contient le plus. La première version du noyau en 1994 en contenait 176 250.
- Le développement du noyau est très actif : on compte $7,8$ patchs déposés toutes les heures en moyenne entre juin 2017 et décembre 2018.
- 95% des lignes de code du noyau sont écrites en C.
- 100% des 500 ordinateurs les plus rapides au monde fonctionnent sous LINUX.
- EN 2018, LINUX est le noyau du système d'exploitation le plus utilisé au monde via les 2 milliards d'utilisateurs d'Android.

Pourquoi UNIX ?

UNIX :

- hérite des concepts SE généralistes précédents
- notion de noyau : partition virtuelle de la mémoire vive
- innovant par :
  - une simplification maximum en un ensemble d'éléments primitifs
  - la définition de leurs relations avec un ensemble réduit de règles
- but : avoir un schéma facile à maîtriser
- écrit en C, ouvert, et doté d'une aide en ligne extrêmement compréhensive, le **man**uel

Aide en ligne – le man

Section	Type de commandes
1	commandes et applications utilisateur
2	appels système, codes erreurs noyau
3	fonctions des bibliothèques
4	pilotes de périphériques et protocoles réseau
5	formats de fichiers standard
6	jeux et démos
7	divers fichiers et documents
8	commandes d'administration système
9	divers specs noyau et interfaces

- *man -k*
- plus d'informations : *man man*

Philosophie UNIX/LINUX

L'ordinateur exécute des programmes qui transforment des données, le tout reposant en mémoire...

Philosophie UNIX/LINUX

L'ordinateur exécute des programmes qui transforment des données, le tout reposant en mémoire...

- on appelle *processus* toute occurence d'une exécution de programme

Philosophie UNIX/LINUX

L'ordinateur exécute des programmes qui transforment des données, le tout reposant en mémoire...

- on appelle *processus* toute occurence d'une exécution de programme
- un *fichier* représente tout flux de données

Philosophie UNIX/LINUX

L'ordinateur exécute des programmes qui transforment des données, le tout reposant en mémoire...

- on appelle *processus* toute occurence d'une exécution de programme
- un *fichier* représente tout flux de données

Le SE gère ces processus, leur permettant de « vivre heureux et s'épanouir dans un certain espace » ; ces processus consomment et/ou génèrent des données

Processus

On étudiera les processus pour comprendre comment ils

- sont gérés
- naissent, vivent, meurent et sont inhumés
- sont organisés ensemble au sein de familles
- sont pilotés par le système au travers de *signaux*
- communiquent grâce aux différentes possibilités d'*IPC*

Fichier

Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système

Fichier

Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système
- correspond à une collection de données reposant *par exemple* en mémoire de masse

Fichier

Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système
- correspond à une collection de données reposant *par exemple* en mémoire de masse
- peut être sans taille, s'il est

Fichier

Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système
- correspond à une collection de données reposant *par exemple* en mémoire de masse
- peut être sans taille, s'il est
  - un *flot* de données (pipes, sockets...)

Fichier

Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système
- correspond à une collection de données reposant *par exemple* en mémoire de masse
- peut être sans taille, s'il est
  - un *flot* de données (pipes, sockets...)
  - associé à un *périphérique* permettant l'accés aux composantes matérielles ; par exemple `/dev/sda` est un accés au disque dur

```
brw-r----1 root disk 8, 0 Oct 15 21:42 /dev/sda
brw-r----1 root disk 8, 1 Oct 15 21:42 /dev/sda1
brw-r----1 root disk 8, 2 Oct 15 21:42 /dev/sda2
brw-r----1 root disk 8, 3 Oct 15 21:42 /dev/sda3
```

Fichier

Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système
- correspond à une collection de données reposant *par exemple* en mémoire de masse
- peut être sans taille, s'il est
  - un *flot* de données (pipes, sockets...)
  - associé à un *périphérique* permettant l'accés aux composantes matérielles ; par exemple `/dev/sda` est un accés au disque dur

```
brw-r----1 root disk 8, 0 Oct 15 21:42 /dev/sda
brw-r----1 root disk 8, 1 Oct 15 21:42 /dev/sda1
brw-r----1 root disk 8, 2 Oct 15 21:42 /dev/sda2
brw-r----1 root disk 8, 3 Oct 15 21:42 /dev/sda3
```

num majeur (type de périphérique : 8 est un port IDE)

Fichier

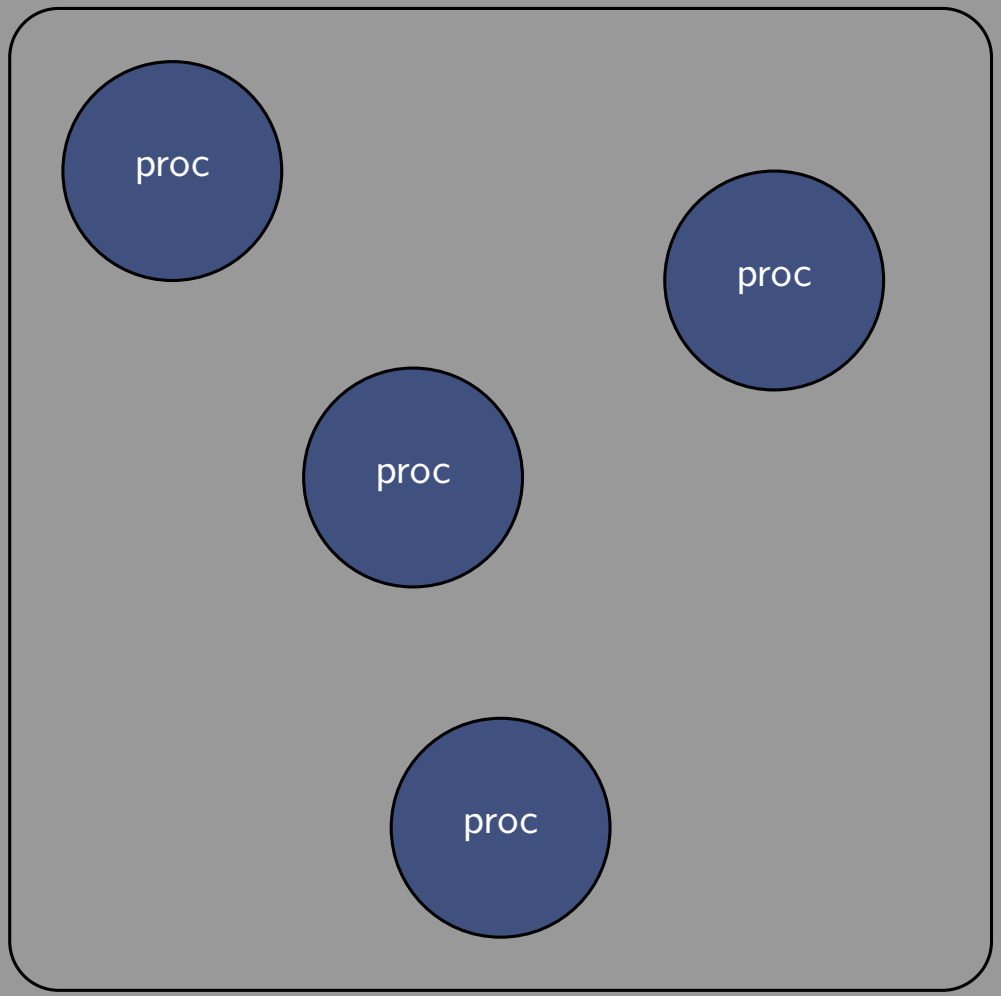
Un fichier correspond à une collection de données. A ce titre, il

- est un point d'entrée/sortie système
- correspond à une collection de données reposant *par exemple* en mémoire de masse
- peut être sans taille, s'il est
  - un *flot* de données (pipes, sockets...)
  - associé à un *périphérique* permettant l'accés aux composantes matérielles ; par exemple `/dev/sda` est un accés au disque dur

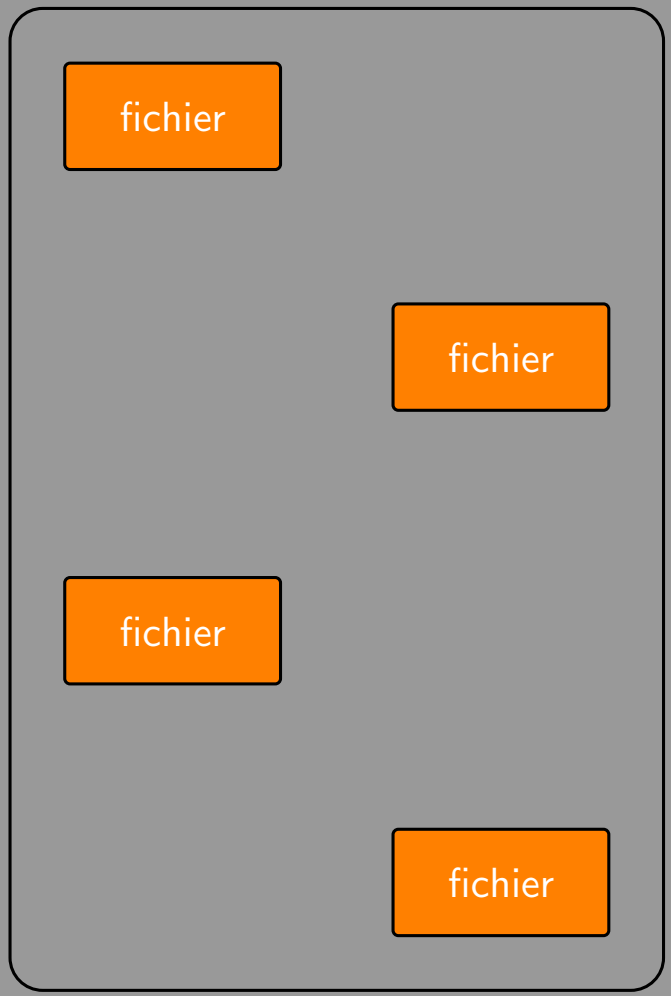
```
brw-r----1 root disk 8, 0 Oct 15 21:42 /dev/sda
brw-r----1 root disk 8, 1 Oct 15 21:42 /dev/sda1
brw-r----1 root disk 8, 2 Oct 15 21:42 /dev/sda2
brw-r----1 root disk 8, 3 Oct 15 21:42 /dev/sda3
```

num majeur (type de périphérique : 8 est un port IDE)
num mineur (partition logique du périphérique)

Interaction Processus – Fichiers

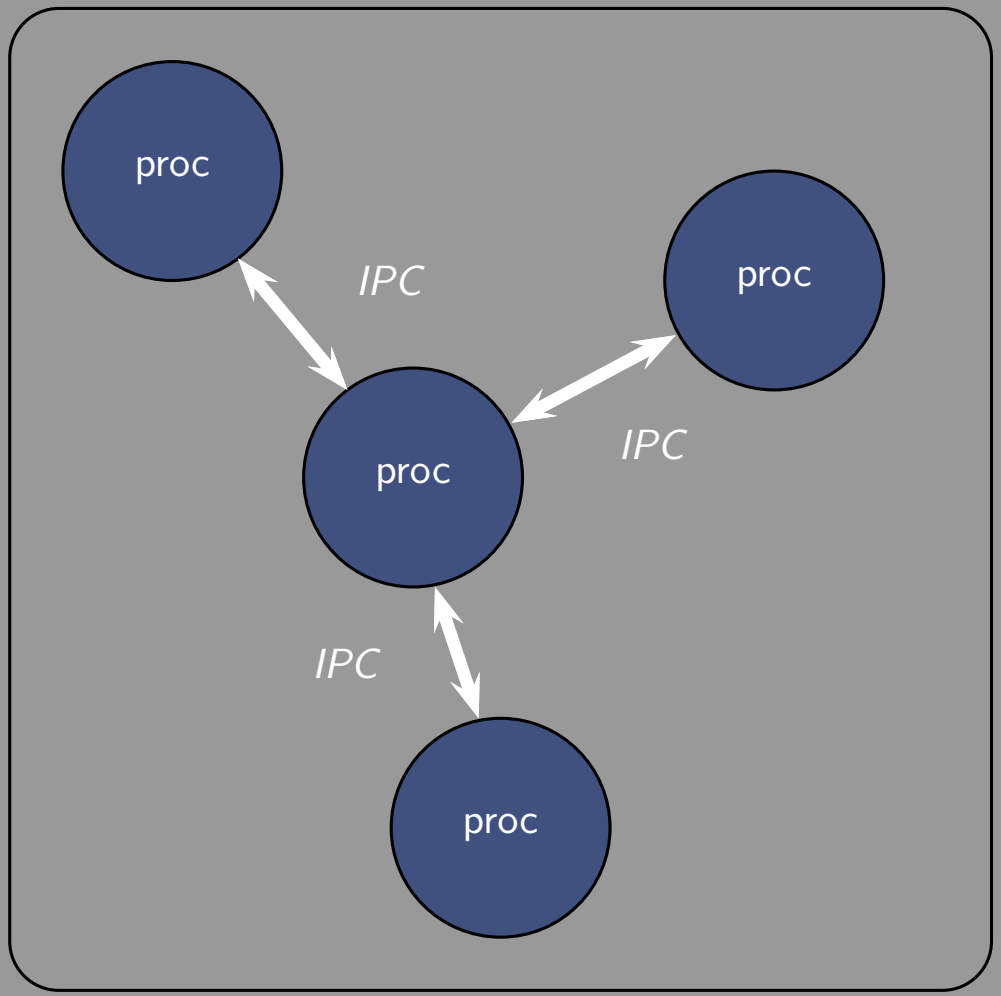


Ensemble de processus

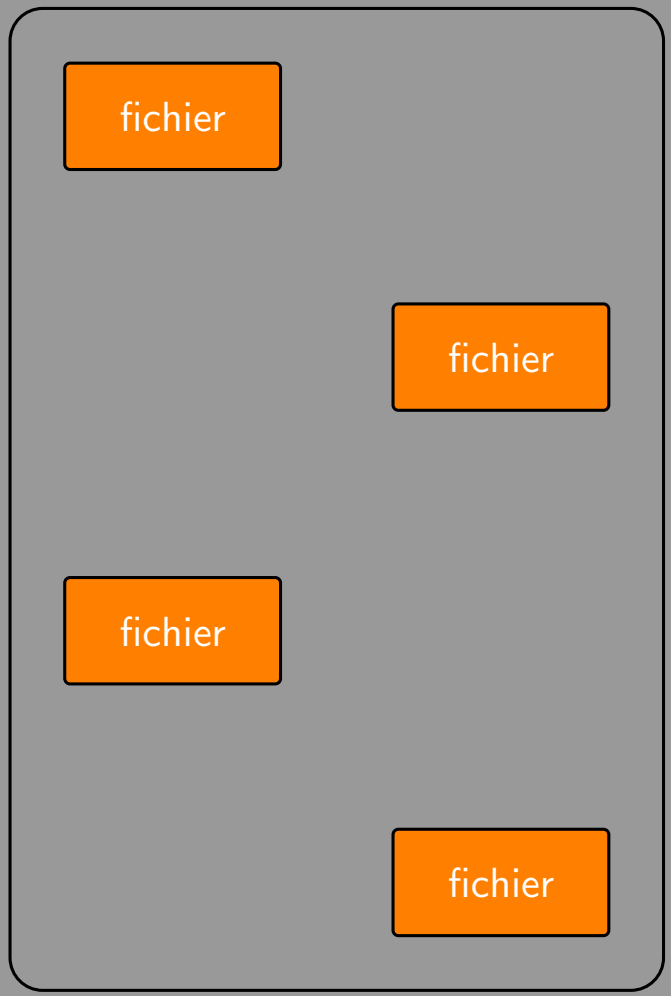


Système de fichiers

Interaction Processus – Fichiers

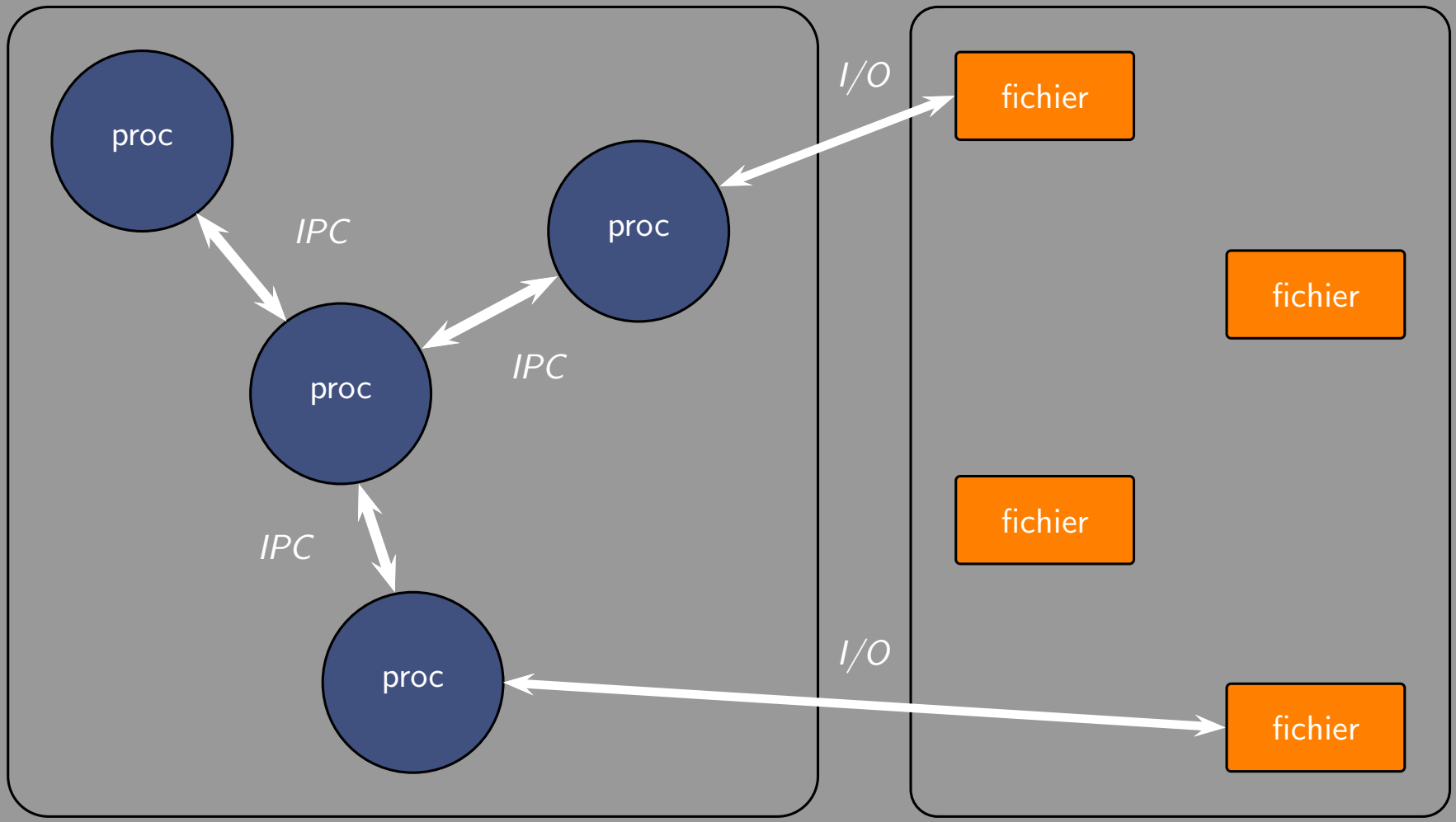


Ensemble de processus

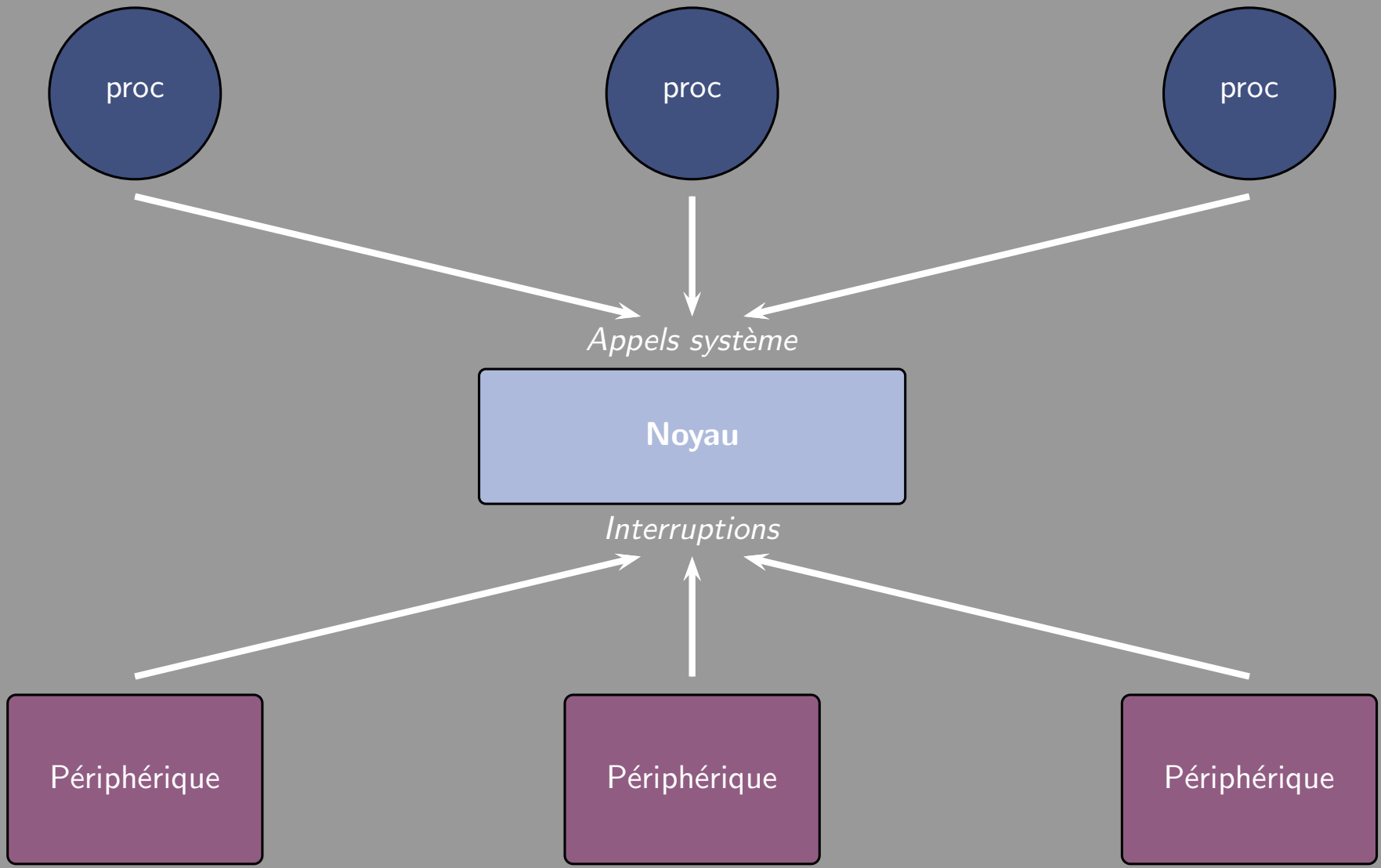


Système de fichiers

Interaction Processus – Fichiers



Interaction Processus – Fichiers : implémentation



Appels système et commutation de contexte

Modes d'exécution

- Pour les processus, le noyau fait office de gestionnaire capable de dispenser des *services*

Modes d'exécution

- Pour les processus, le noyau fait office de gestionnaire capable de dispenser des *services*
- Un processus s'exécute par défaut en *mode utilisateur* : les actions entreprises par le programme sont limitées pour des raisons de sécurité

Modes d'exécution

- Pour les processus, le noyau fait office de gestionnaire capable de dispenser des *services*
- Un processus s'exécute par défaut en *mode utilisateur* : les actions entreprises par le programme sont limitées pour des raisons de sécurité
- Lorsque un processus souhaite accéder à un service, ou qu'une *interruption* se produit, un *appel système* a lieu pour exécuter une routine du noyau en *mode superviseur* (ou encore, *mode noyau*) : dans ce mode, il n'y a aucune restriction de droits

Modes d'exécution

- Pour les processus, le noyau fait office de gestionnaire capable de dispenser des *services*
- Un processus s'exécute par défaut en *mode utilisateur* : les actions entreprises par le programme sont limitées pour des raisons de sécurité
- Lorsque un processus souhaite accéder à un service, ou qu'une *interruption* se produit, un *appel système* a lieu pour exécuter une routine du noyau en *mode superviseur* (ou encore, *mode noyau*) : dans ce mode, il n'y a aucune restriction de droits
- Le passage d'un mode à l'autre s'appelle *commutation de contexte* : il s'accompagne d'une opération de *sauvegarde* du contexte utilisateur en passant en mode superviseur, et d'une *restauration* de ce contexte en repassant en mode utilisateur

Processeur et commutation de contexte

Le rôle de la *commutation de contexte* est d'assurer cohérence et protection dans un cadre multiprocesseur – multiutilisateur

- Le SE s'appuie généralement sur les niveaux de privilège définis au niveau des processeurs
- Ces niveaux attribuent aux objets connus par le processus (segments, tables, ...) une valeur qui définit des règles d'accés
- Dépendent de la commutation de contexte interruptions matérielles et logicielles ainsi qu'exceptions...

Processeur et commutation de contexte

Le rôle de la *commutation de contexte* est d'assurer cohérence et protection dans un cadre multiprocesseur – multiutilisateur

- Le SE s'appuie généralement sur les niveaux de privilège définis au niveau des processeurs
- Ces niveaux attribuent aux objets connus par le processus (segments, tables, ...) une valeur qui définit des règles d'accés
- Dépendent de la commutation de contexte interruptions matérielles et logicielles ainsi qu'exceptions...

Remarques :

1. En passant en mode Noyau, le processeur accède à des zones de mémoire protégées
2. Le nombre d'appels système disponibles est fixe, chaque type d'appel étant identifié par un entier unique
3. A chaque type d'appel système peut être associé un ensemble d'arguments précisant l'information à transférer de l'espace Utilisateur à l'espace Noyau et réciproquement

Etapes d'un appel système

1. Un appel a lieu (par exemple par l'appel d'une fonction de la bibliothèque C par un programme)

Etapes d'un appel système

1. Un appel a lieu (par exemple par l'appel d'une fonction de la bibliothèque C par un programme)
2. Le *wrapper* de cette fonction rend disponible tous les arguments au *gestionnaire d'interruption* ; ces arguments sont passés (*via* la *pile système*) au wrapper qui les copie dans certains registres

Etapes d'un appel système

1. Un appel a lieu (par exemple par l'appel d'une fonction de la bibliothèque C par un programme)
2. Le *wrapper* de cette fonction rend disponible tous les arguments au *gestionnaire d'interruption* ; ces arguments sont passés (*via* la *pile système*) au wrapper qui les copie dans certains registres
3. Le wrapper copie le numéro de l'appel système correspondant dans un registre dédié

Etapes d'un appel système

1. Un appel a lieu (par exemple par l'appel d'une fonction de la bibliothèque C par un programme)
2. Le *wrapper* de cette fonction rend disponible tous les arguments au *gestionnaire d'interruption* ; ces arguments sont passés (*via* la *pile système*) au wrapper qui les copie dans certains registres
3. Le wrapper copie le numéro de l'appel système correspondant dans un registre dédié
4. Le wrapper exécute une *interruption* (`int 0x80`) qui commute le processeur en mode Noyau, et exécute le code pointé par l'adresse `0x80` dans le *vecteur d'interruptions*

Etapes d'un appel système

1. Un appel a lieu (par exemple par l'appel d'une fonction de la bibliothèque C par un programme)
2. Le *wrapper* de cette fonction rend disponible tous les arguments au *gestionnaire d'interruption* ; ces arguments sont passés (*via* la *pile système*) au wrapper qui les copie dans certains registres
3. Le wrapper copie le numéro de l'appel système correspondant dans un registre dédié
4. Le wrapper exécute une *interruption* (`int 0x80`) qui commute le processeur en mode Noyau, et exécute le code pointé par l'adresse `0x80` dans le *vecteur d'interruptions*
5. En réponse le noyau appelle la routine `system_call` pour gérer l'interruption

Exemple

mode Utilisateur

programme

```
...
execve(path, arg, envp);
...
```

wrapper glibc

```
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
                argv, envp*/
return}
```

mode Noyau

routine système

```
sys_execve()
{
  ...
  return error
}
```

gestionnaire d'interruption

```
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...
```

Exemple

mode Utilisateur

programme

```
...
execve(path, arg, envp);
...
```

wrapper glibc

```
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
                argv, envp*/
return}
```

mode Noyau

routine système

```
sys_execve()
{
  ...
  return error
}
```

gestionnaire d'interruption

```
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...
```

Exemple

mode Utilisateur

programme

```
...
execve(path, arg, envp);
...
```

wrapper glibc

```
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
                argv, envp*/
return}
```

mode Noyau

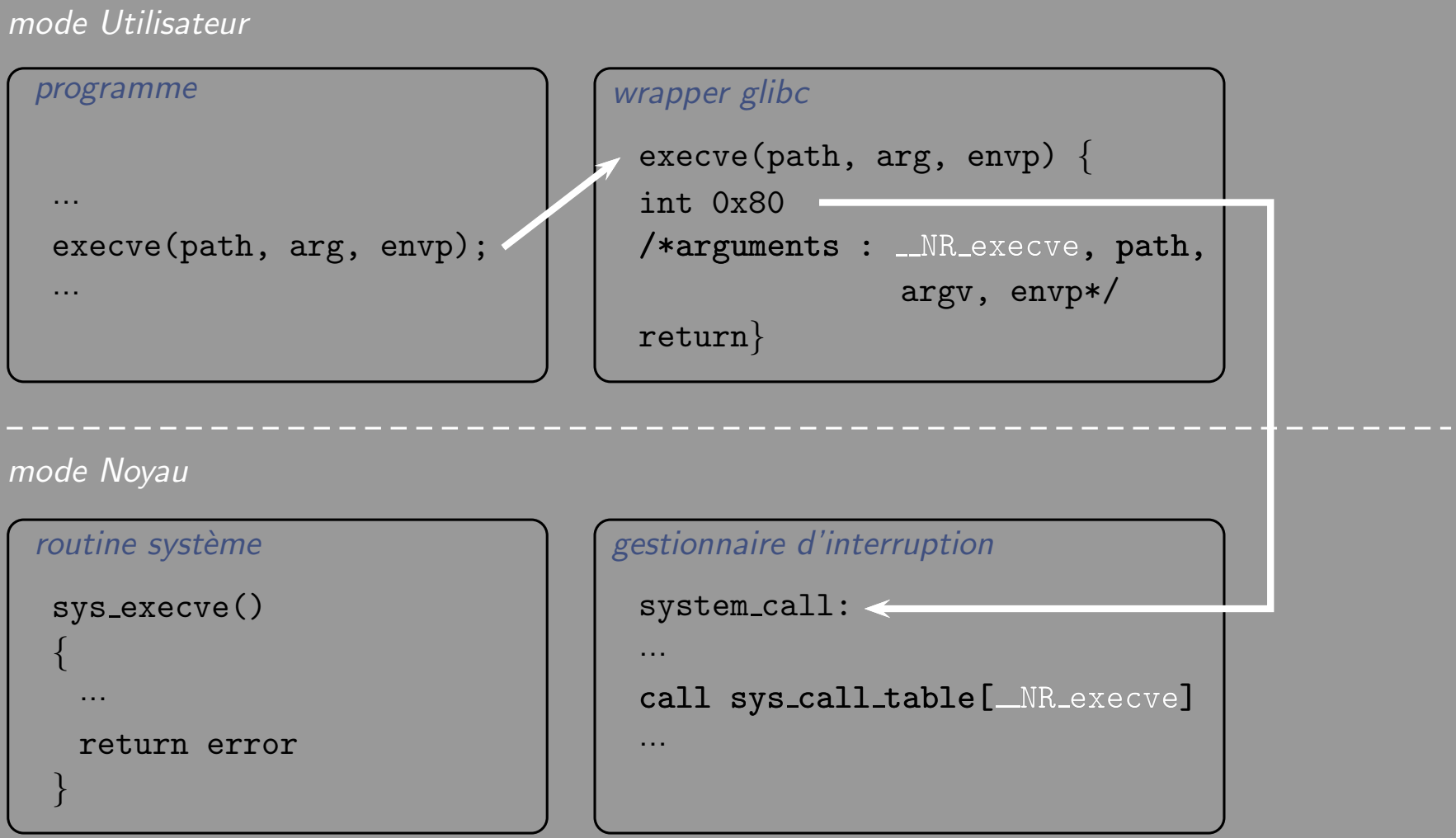
routine système

```
sys_execve()
{
  ...
  return error
}
```

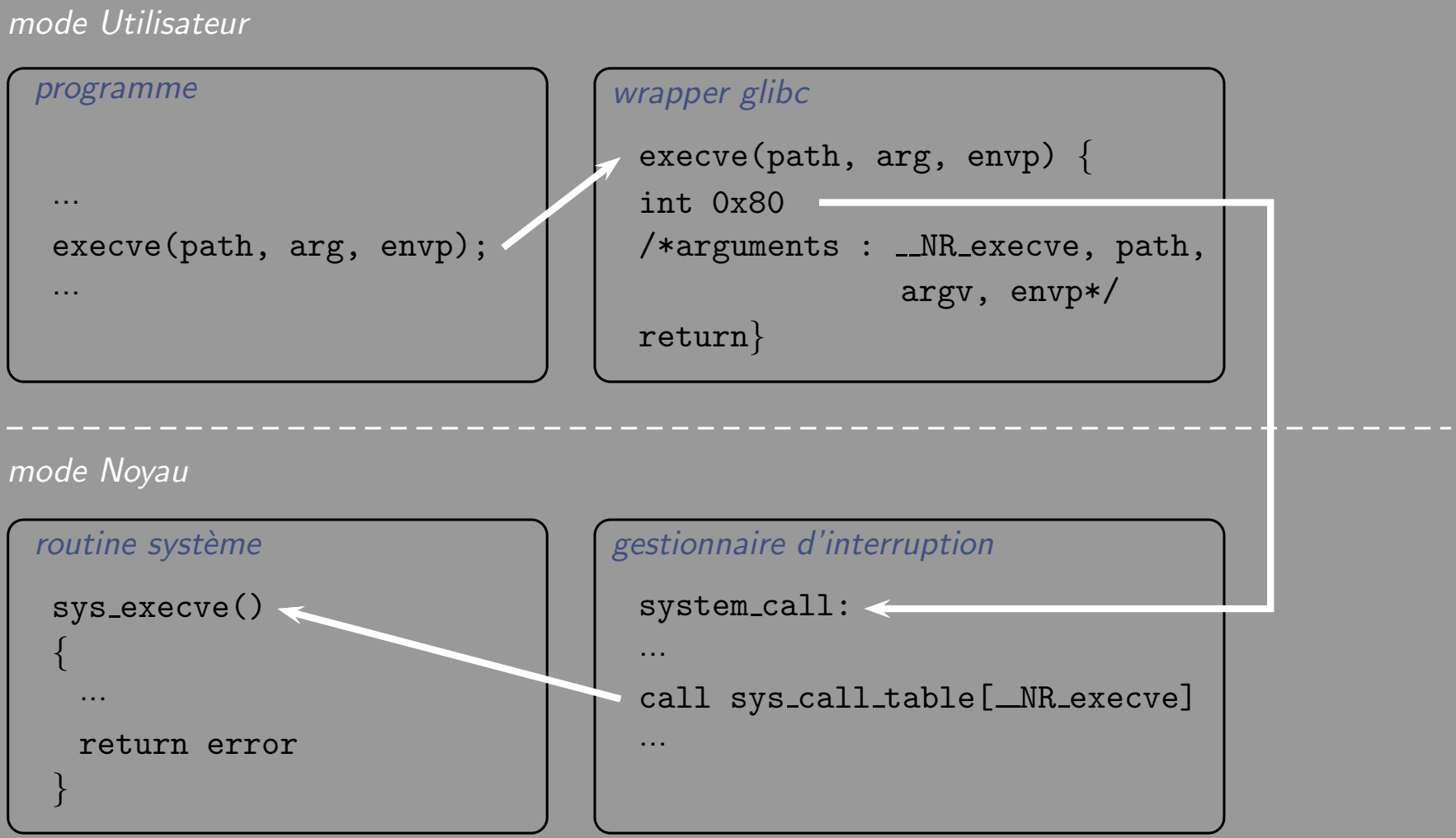
gestionnaire d'interruption

```
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...
```

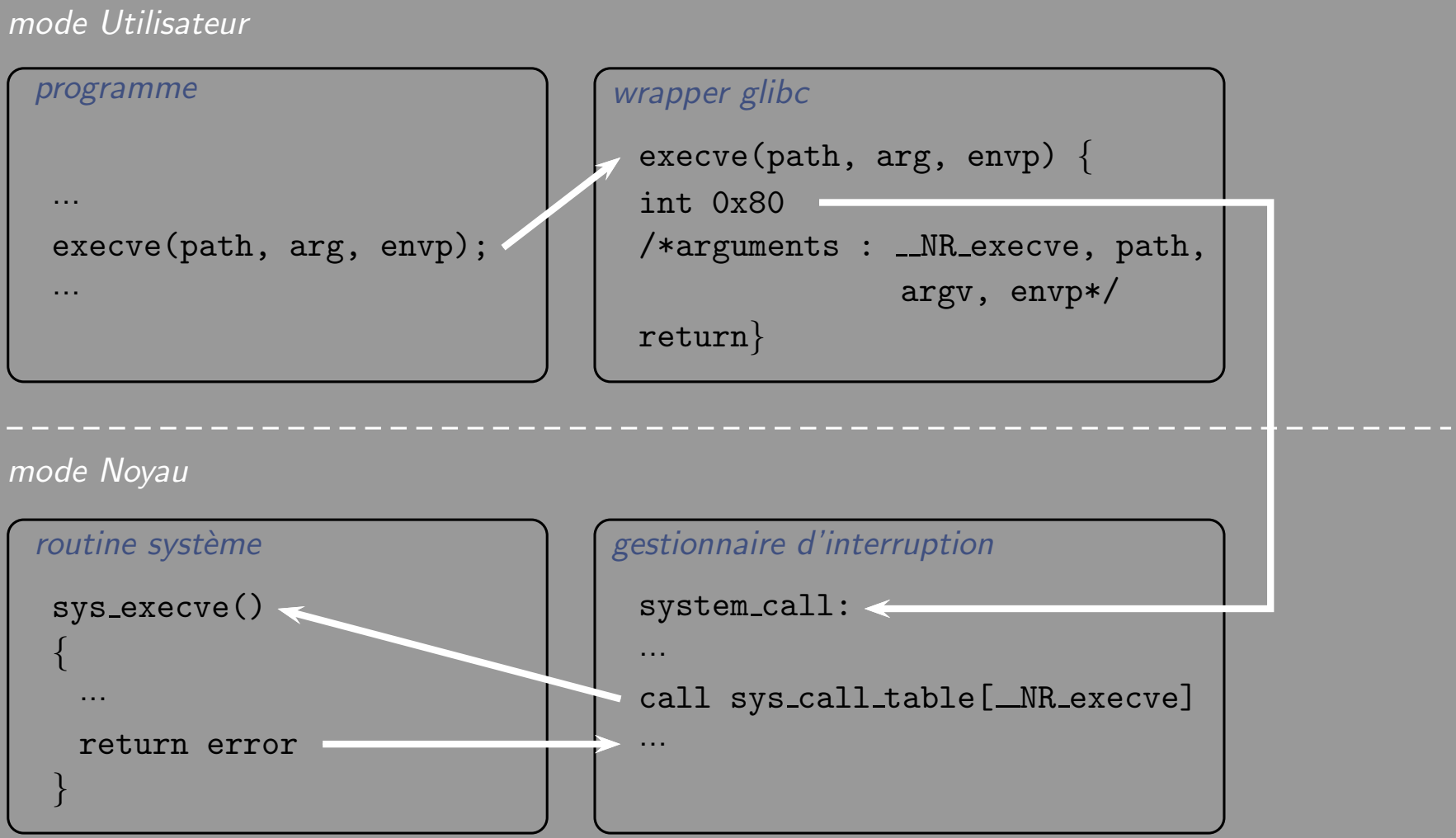
Exemple


mode Utilisateur
programme
...
execve(path, arg, envp);
...
wrapper glibc
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
argv, envp*/
return}
mode Noyau
routine système
sys_execve()
{
...
return error
}
gestionnaire d'interruption
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...

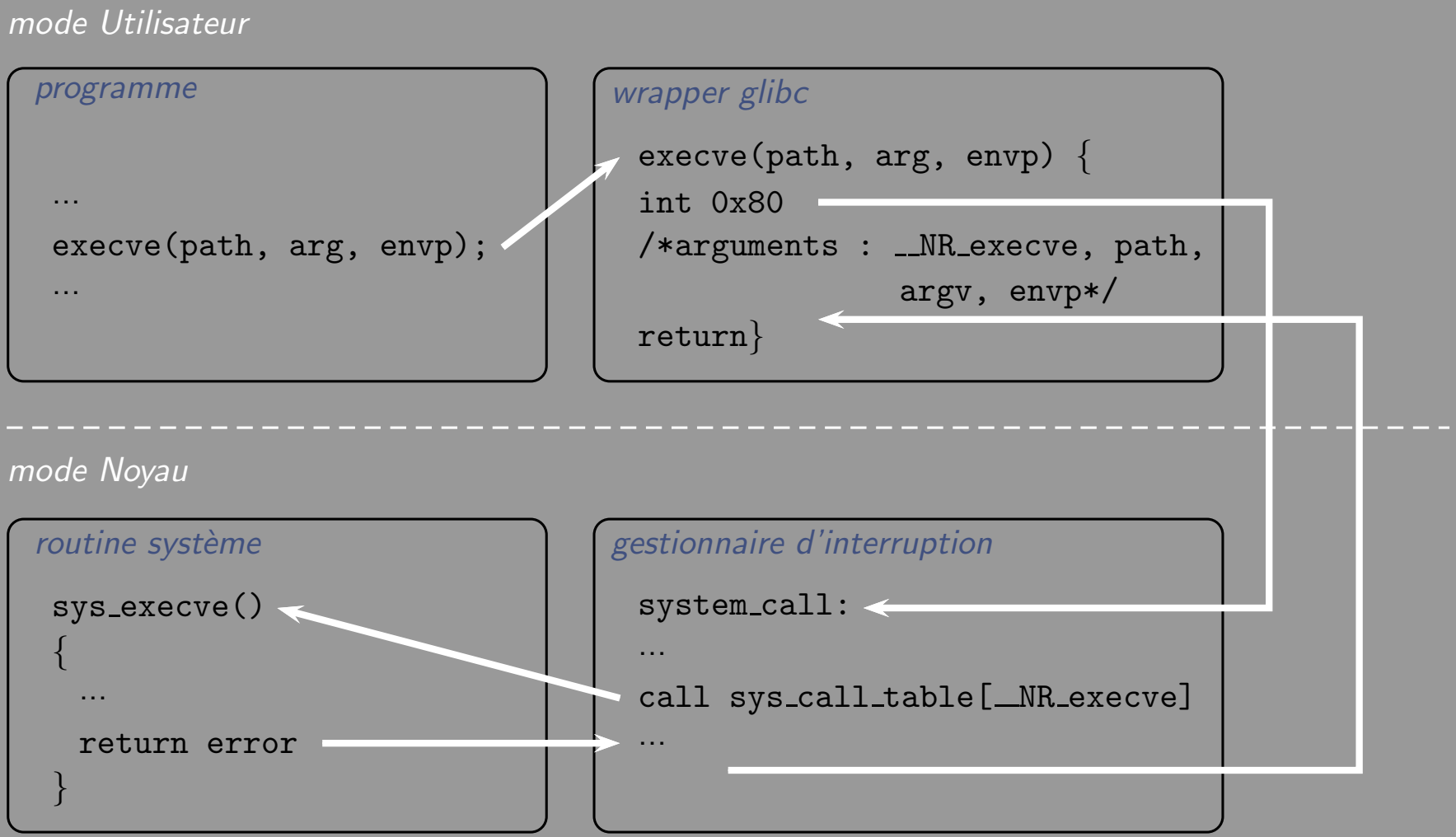
Exemple


mode Utilisateur
programme
...
execve(path, arg, envp);
...
wrapper glibc
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
argv, envp*/
return}
mode Noyau
routine système
sys_execve()
{
...
return error
}
gestionnaire d'interruption
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...

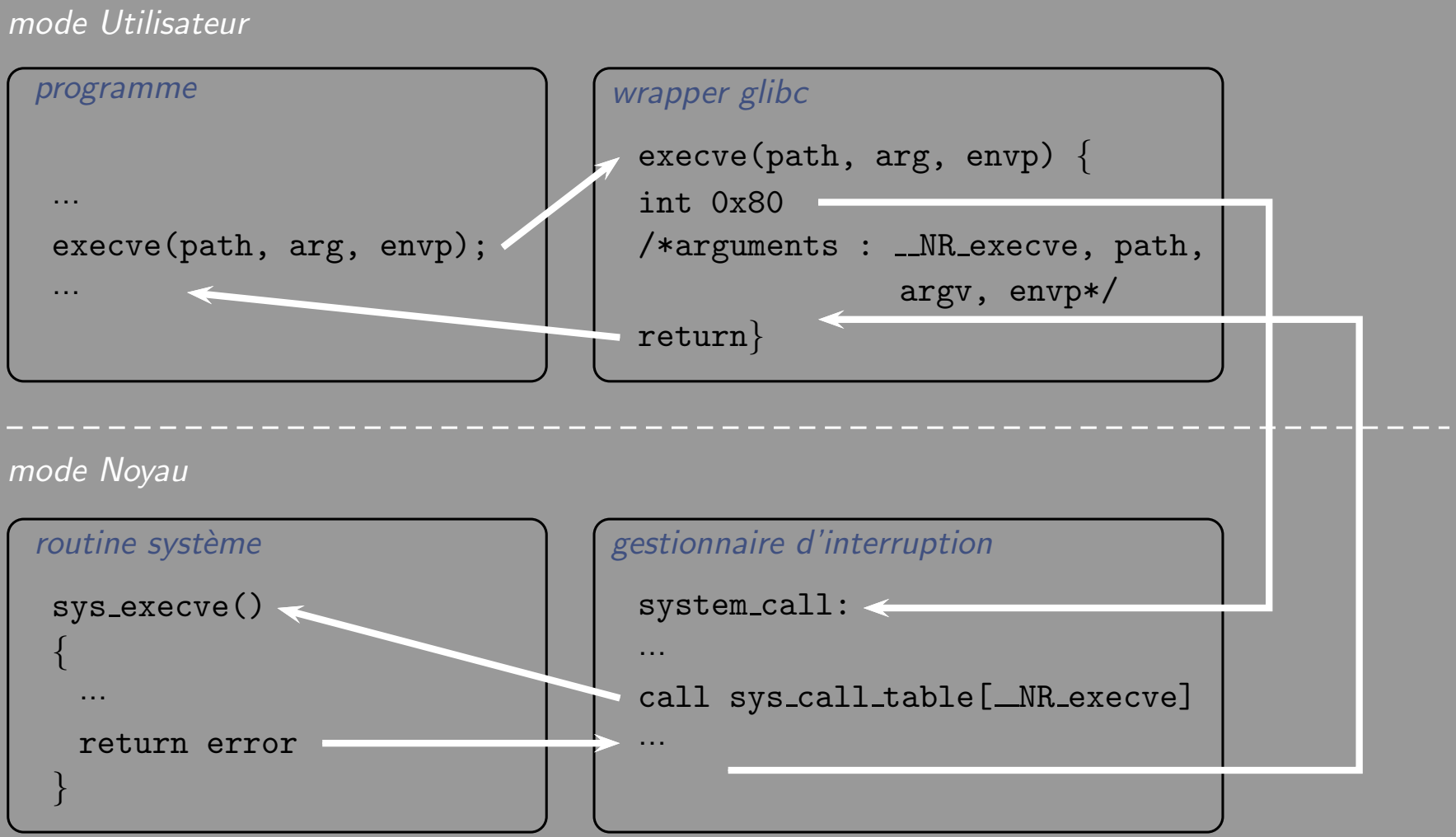
Exemple


mode Utilisateur
programme
...
execve(path, arg, envp);
...
wrapper glibc
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
argv, envp*/
return}
mode Noyau
routine système
sys_execve()
{
...
return error
}
gestionnaire d'interruption
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...

Exemple

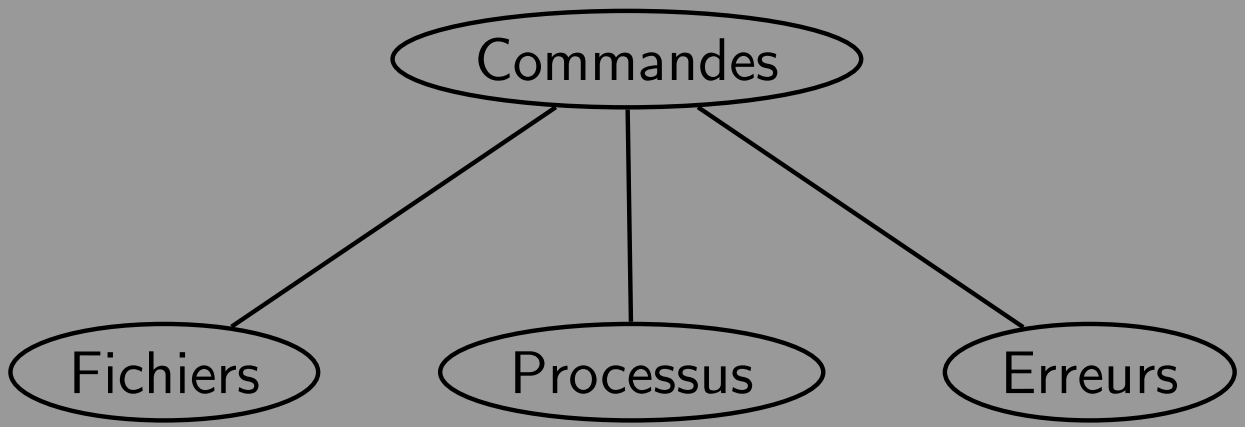

mode Utilisateur
programme
...
execve(path, arg, envp);
...
wrapper glibc
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
argv, envp*/
return}
mode Noyau
routine système
sys_execve()
{
...
return error
}
gestionnaire d'interruption
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...

Exemple

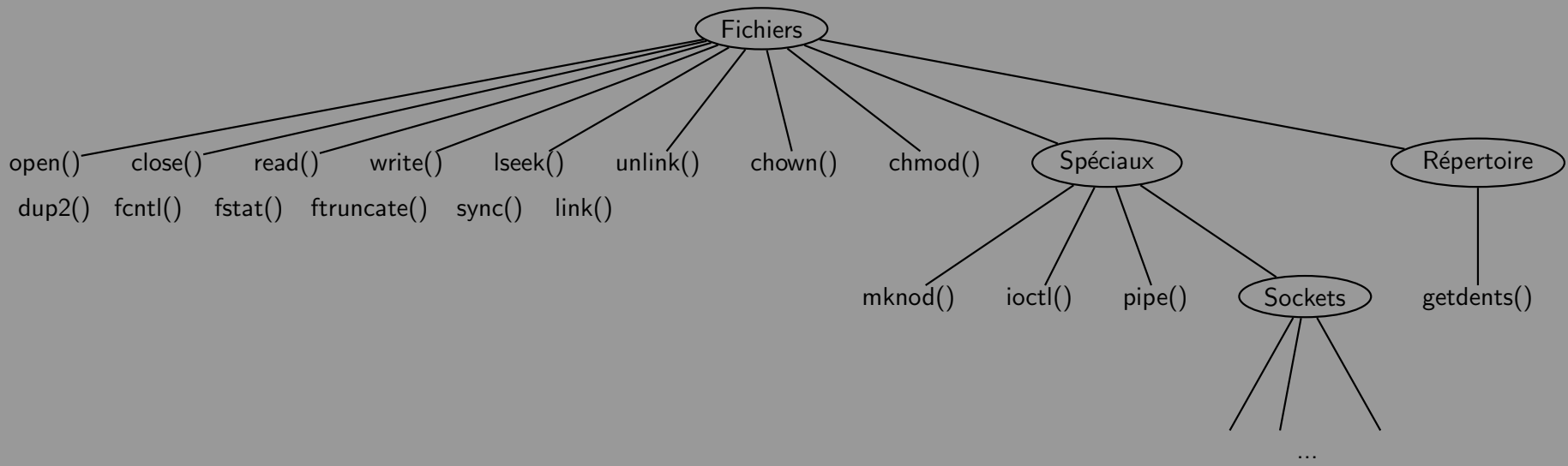

mode Utilisateur
programme
...
execve(path, arg, envp);
...
wrapper glibc
execve(path, arg, envp) {
int 0x80
/*arguments : __NR_execve, path,
argv, envp*/
return}
mode Noyau
routine système
sys_execve()
{
...
return error
}
gestionnaire d'interruption
system_call:
...
call sys_call_table[__NR_execve]
...

Commandes UNIX/LINUX

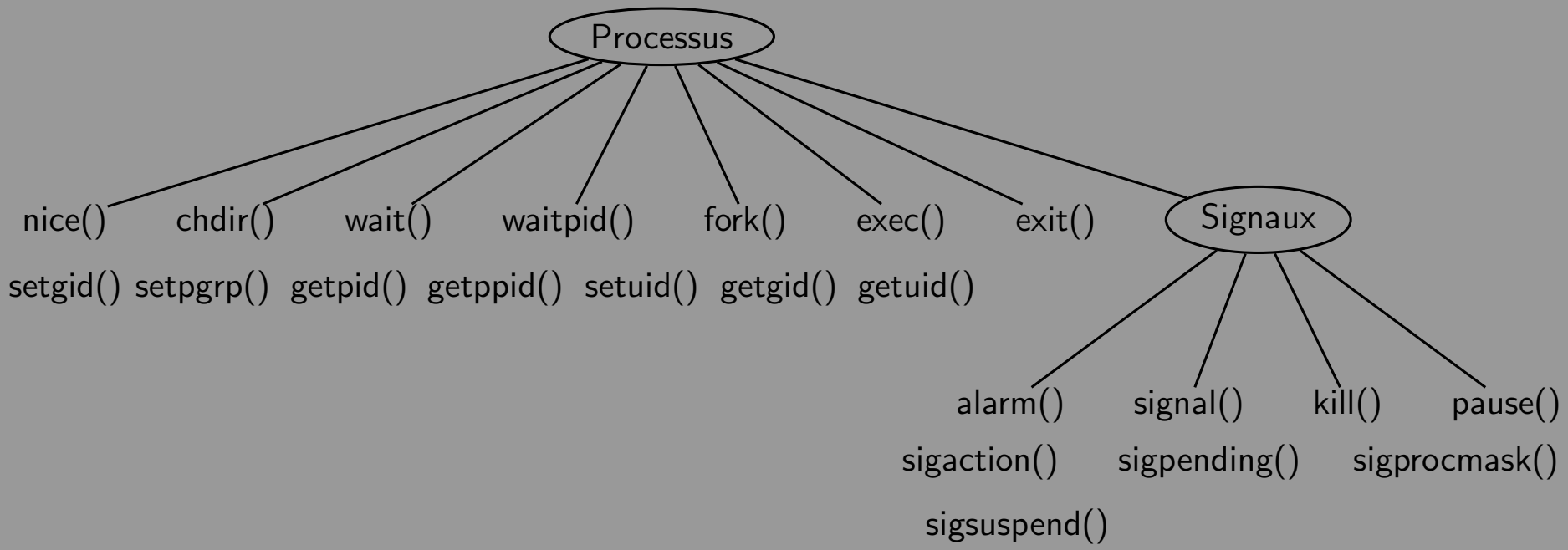
Arborescence des commandes



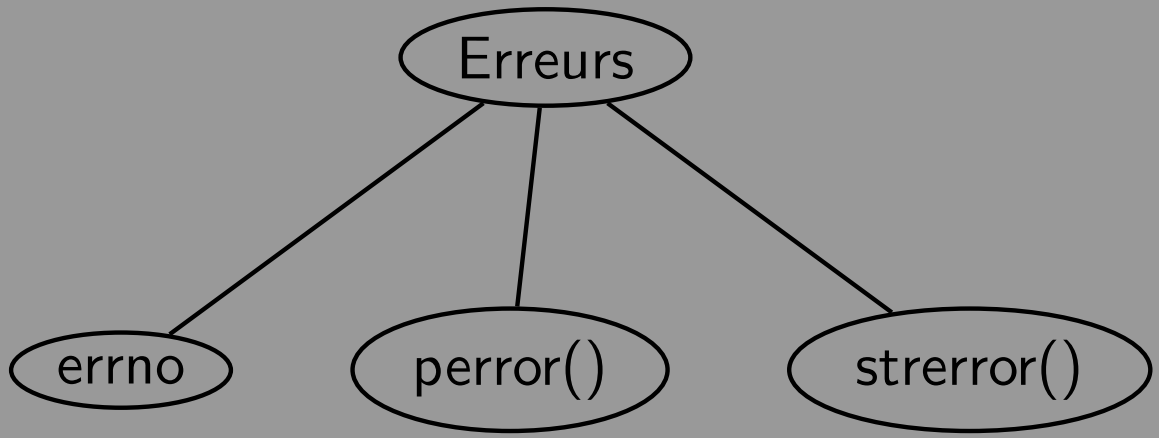
Fichiers


Fichiers
open()
close()
read()
write()
lseek()
unlink()
chown()
chmod()
Spéciaux
Répertoire
dup2()
fcntl()
fstat()
ftruncate()
sync()
link()
mknod()
ioctl()
pipe()
Sockets
getdents()
...

Processus


Processus
nice()
chdir()
wait()
waitpid()
fork()
exec()
exit()
Signaux
setgid()
setpgrp()
getpid()
getppid()
setuid()
getgid()
getuid()
alarm()
signal()
kill()
pause()
sigaction()
sigpending()
sigprocmask()
sigsuspend()

Erreurs



Mise en place des TPs

Idée Générale

- Etude du comportement des fonctions système étudiées en cours
- Au delà, conception d'utilitaires en ligne de commande, pouvant recevoir des arguments, et reposant sur l'emploi des fonctions système connues

Idée Générale

- Etude du comportement des fonctions système étudiées en cours
- Au delà, conception d'utilitaires en ligne de commande, pouvant recevoir des arguments, et reposant sur l'emploi des fonctions système connues

Exemple : La fonction « maison »

monitor [-t *délai*][-c *NbParcours*]{*fichiers*}+

monitor parcours les *fichiers* spécifiés toutes les *délai* secondes (si l'option -t est précisée) et affiche des informations sur ceux des fichiers qui ont été modifiés depuis le dernier parcours. L'option -c permet de préciser le *NbParcours* à effectuer.

monitor : comment ?

- L'éxecutable résulte (à peu de choses près...) d'une compilation du genre

  g++ -o monitor MonProgrammeMonitor.cxx

  (avec l'option -o pour "output" après *compilation* et *édition de liens*)

monitor : comment ?

- L'éxecutable résulte (à peu de choses près...) d'une compilation du genre

  g++ -o monitor MonProgrammeMonitor.cxx

  (avec l'option -o pour "output" après *compilation* et *édition de liens*)
- La possibilité de spécifier un *délai*, un *NbParcours*, sur quels *fichiers*, résulte de la possibilité de passer des *arguments* à MonProgrammeMonitor.cxx

monitor : comment ?

- L'éxecutable résulte (à peu de choses près...) d'une compilation du genre

  g++ -o monitor MonProgrammeMonitor.cxx

  (avec l'option -o pour "output" après *compilation* et *édition de liens*)
- La possibilité de spécifier un *délai*, un *NbParcours*, sur quels *fichiers*, résulte de la possibilité de passer des *arguments* à MonProgrammeMonitor.cxx
- En ≪ bonne programmation ≫, on attend de **monitor** une gestion propre d'éventuelles *erreurs* pouvant (aussi) être générées par des appels système

monitor : comment ?

- L'éxecutable résulte (à peu de choses près...) d'une compilation du genre

  g++ -o monitor MonProgrammeMonitor.cxx

  (avec l'option -o pour "output" après *compilation* et *édition de liens*)
- La possibilité de spécifier un *délai*, un *NbParcours*, sur quels *fichiers*, résulte de la possibilité de passer des *arguments* à MonProgrammeMonitor.cxx
- En ≪ bonne programmation ≫, on attend de **monitor** une gestion propre d'éventuelles *erreurs* pouvant (aussi) être générées par des appels système

D'où...

Outils pour les TPS...

- passage d'arguments *via* *argc* et *argv*
- *gcc* et *g++* pour la compilation séparée
- *make* et *makefiles*
- encapsulation (*wrapping*) des appels système et gestion des erreurs avec la classe C++ *CExc*

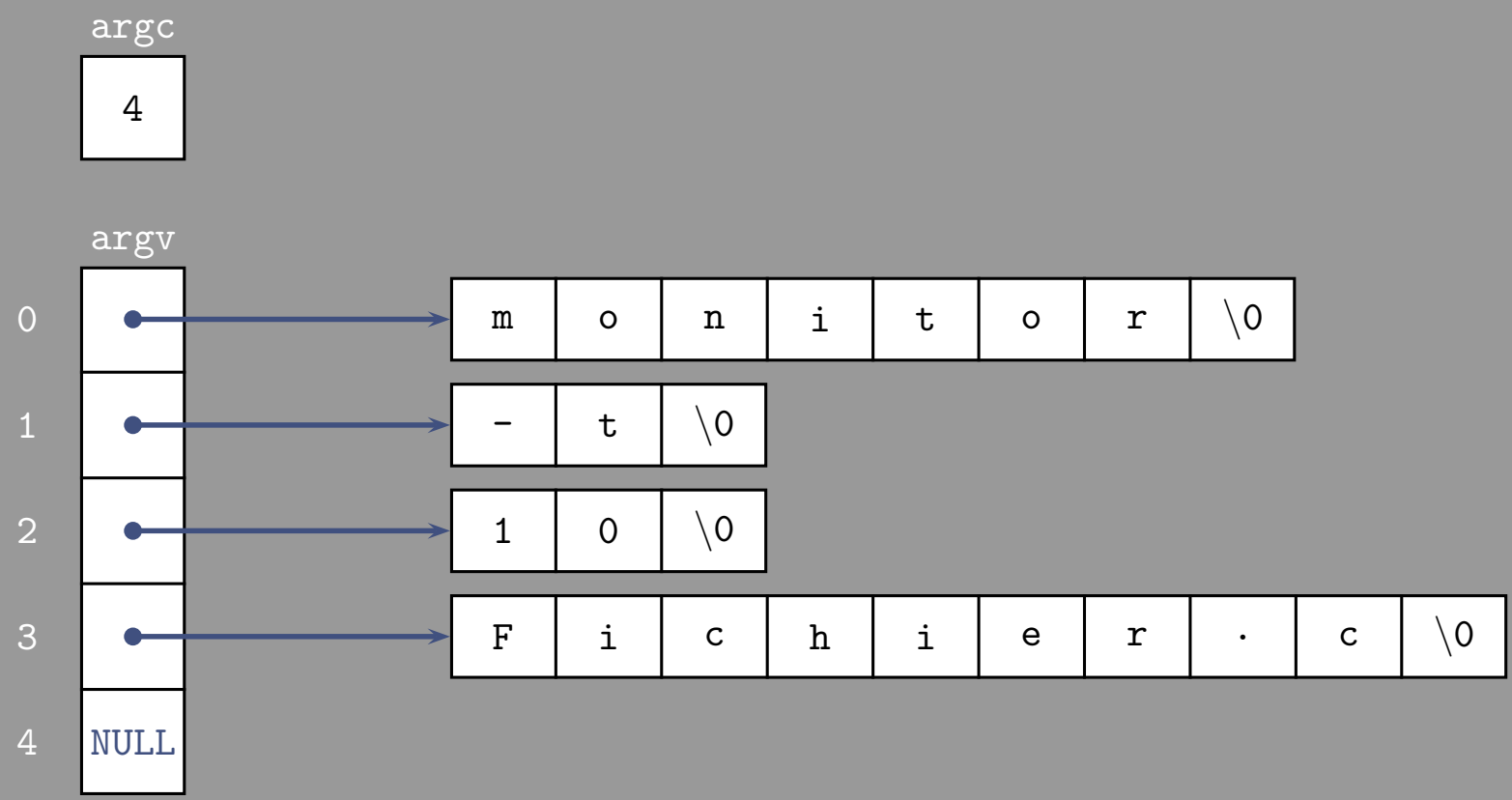
Passage d'arguments à un programme

```
main (int argc, char *argv[]) {
  // ...
  // analyse de argc et argv
  // ...
}
```

- *argc* désigne le nb total d'arguments passés à la fonction, y incluant le nom d'appel de la fonction elle-même
- *argv* est un tableau de pointeurs sur des tableaux de caractères C dont chacun contient un argument

argc et argv, exemple

```
monitor -t 10 Fichier.c
```



gcc et g++ pour la compilation séparée

gcc et g++ pour la compilation séparée

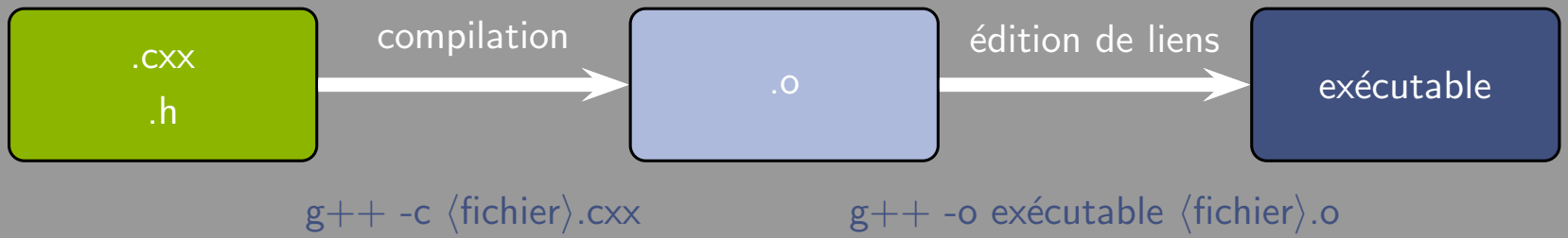
g++ -c ⟨fichier⟩.cxx

gcc et g++ pour la compilation séparée

g++ -c ⟨fichier⟩.cxx

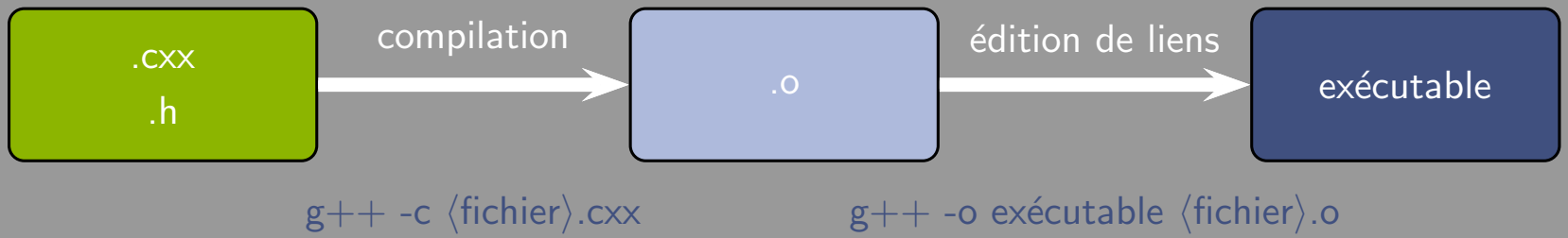
g++ -o exécutable ⟨fichier⟩.o

gcc et g++ pour la compilation séparée



En cas de *compilation séparée*, on souhaite ne pas avoir à tout recompiler lorsqu'on modifie un fichier parmi plusieurs (par ex. dans le cas d'un programme disséminé en plusieurs fichiers représentant plusieurs milliers de lignes de code...)

gcc et g++ pour la compilation séparée



En cas de *compilation séparée*, on souhaite ne pas avoir à tout recompiler lorsqu'on modifie un fichier parmi plusieurs (par ex. dans le cas d'un programme disséminé en plusieurs fichiers représentant plusieurs milliers de lignes de code...)

→ d'où l'intérêt de l'utilitaire *make* et des *makefiles*

Makefile

Un *makefile* est constitué de *règles* qui disent comment, et dans quel ordre effectuer une compilation. Chaque règle définit trois entités :

- le fichier construit par la règle, matérialisé par une *cible*
- la liste des *dépendances* nécessaires à la construction de cette cible
- les *opérations* à réaliser pour la construction de la cible

Makefile

Un *makefile* est constitué de *règles* qui disent comment, et dans quel ordre effectuer une compilation. Chaque règle définit trois entités :

- le fichier construit par la règle, matérialisé par une *cible*
- la liste des *dépendances* nécessaires à la construction de cette cible
- les *opérations* à réaliser pour la construction de la cible

Format de règle :

$$\langle \text{cible} \rangle : \quad \langle \text{dépendances} \rangle$$
$$\langle \text{opérations} \rangle$$

Makefile

Un *makefile* est constitué de *règles* qui disent comment, et dans quel ordre effectuer une compilation. Chaque règle définit trois entités :

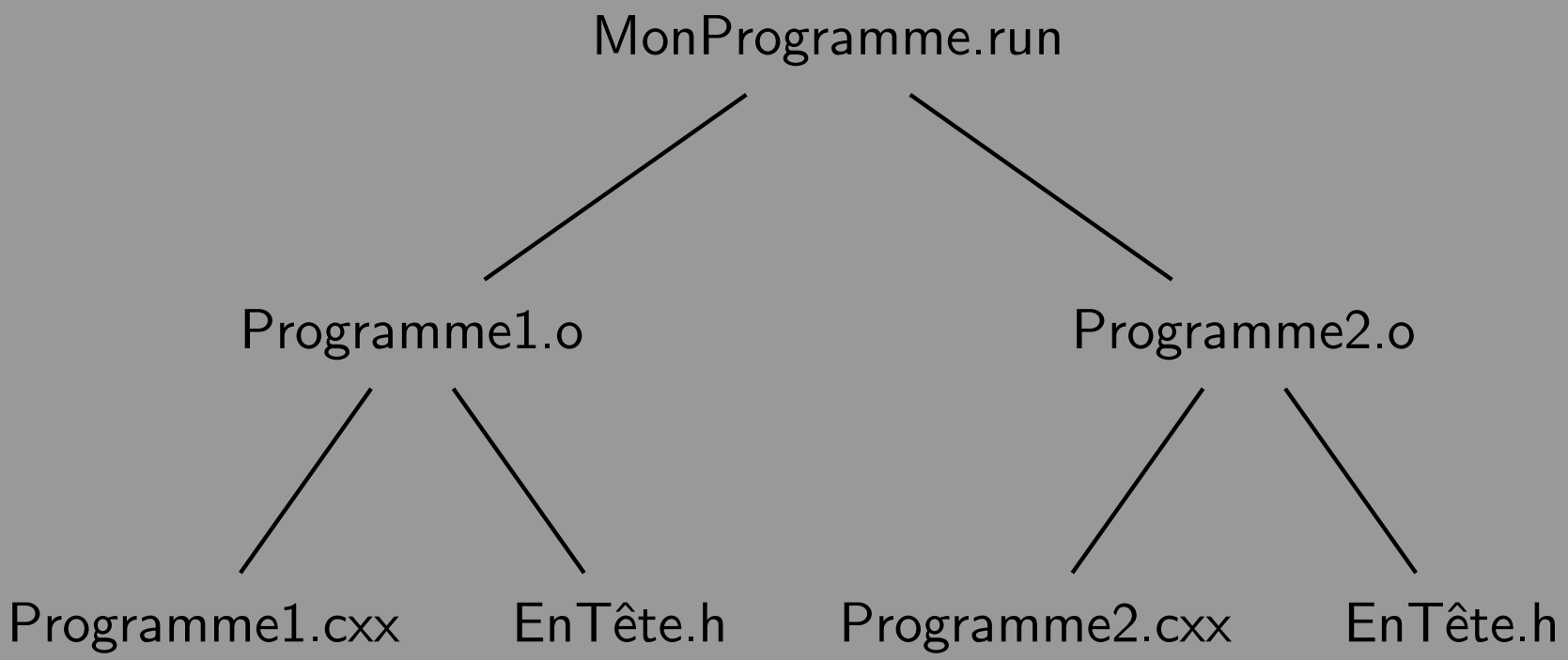
- le fichier construit par la règle, matérialisé par une *cible*
- la liste des *dépendances* nécessaires à la construction de cette cible
- les *opérations* à réaliser pour la construction de la cible

Format de règle :

$$\langle \text{cible} \rangle : \quad \langle \text{dépendances} \rangle$$
$$\Longleftrightarrow \langle \text{opérations} \rangle$$

Attention à la tabulation *obligatoire* !

Exemple


MonProgramme.run
Programme1.o
Programme2.o
Programme1.cxx
EnTête.h
Programme2.cxx
EnTête.h

Makefile correspondant

```
MonProgramme.run: Programme1.o Programme2.o
	g++ -o MonProgramme.run Programme1.o Programme2.o

Programme1.o: Programme1.cxx EnTete.h
	g++ Programme1.cxx

Programme2.o: Programme2.cxx EnTete.h
	g++ Programme2.cxx
```

Makefile correspondant

```
MonProgramme.run: Programme1.o Programme2.o
	g++ -o MonProgramme.run Programme1.o Programme2.o

Programme1.o: Programme1.cxx EnTete.h
	g++ Programme1.cxx

Programme2.o: Programme2.cxx EnTete.h
	g++ Programme2.cxx
```

Remarque : comment gérer le cas fichiers disséminés dans des répertoires dictincts ?

Makefile correspondant (variation)

Avec `EnTete.h` dans un répertoire `include` voisin...

```
MonProgramme.run: Programme1.o Programme2.o
	g++ -o MonProgramme.run Programme1.o Programme2.o

Programme1.o: Programme1.cxx ../include/EnTete.h
	g++ Programme1.cxx -I ../include

Programme2.o: Programme2.cxx ../include/EnTete.h
	g++ Programme2.cxx -I ../include
```

Makefile correspondant (variation)

Avec `EnTete.h` dans un répertoire `include` voisin...

```
MonProgramme.run: Programme1.o Programme2.o
	g++ -o MonProgramme.run Programme1.o Programme2.o

Programme1.o: Programme1.cxx ../include/EnTete.h
	g++ Programme1.cxx -I ../include

Programme2.o: Programme2.cxx ../include/EnTete.h
	g++ Programme2.cxx -I ../include
```

→ L'option `-I` dans `g++ -I ../include` permet d'ajouter le répertoire `include` aux chemins explorés par *g++*

Gestion des erreurs système

De manière standard

- un appel système échoué positionne la variable globale `errno`
- la fonction `perror()` permet d'afficher un message ainsi que la cause de l'erreur obtenue à partir du dernier positionnement de `errno`
- la fonction `strerror()` permet d'afficher la cause de l'erreur à partir de toute valeur de `errno` passée en paramètre

Exemple

```
...
#include <errno.h>  // valeurs admises pour errno
#include <string.h> // pour strerror()
#include <iostream>
...
struct stat buf;
...
const int e = stat("Fichier.txt", &buf);
if (e == -1) {
  std::cerr << "Erreur en ouverture de fichier : "
            << strerror(errno) << "\n";
}
```

`stat()` renvoie -1 en erreur, auquel cas `errno` peut valoir par exemple `ENOENT` (fichier inexistant), `EACCESS` (pas d'accès autorisé)...

CExc, classe de gestion des erreurs

- Les erreurs système modifient la variable globale `errno` : si une seconde erreur apparaît avant de pouvoir prendre connaissance de la valeur d'`errno`, on perd la première erreur...

CExc, classe de gestion des erreurs

- Les erreurs système modifient la variable globale `errno` : si une seconde erreur apparaît avant de pouvoir prendre connaissance de la valeur d'`errno`, on perd la première erreur...
- On souhaite donc interrompre l'exécution d'un programme précisément à l'endroit où une erreur système surgit, afin de transmettre un maximum de renseignements au code appelant.

CExc, classe de gestion des erreurs

- Les erreurs système modifient la variable globale `errno` : si une seconde erreur apparaît avant de pouvoir prendre connaissance de la valeur d'`errno`, on perd la première erreur...
- On souhaite donc interrompre l'exécution d'un programme précisément à l'endroit où une erreur système surgit, afin de transmettre un maximum de renseignements au code appelant.
- Idée : une classe *CExc* dérivée de la classe standard *exception*, et dotée d'une fonction d'affichage adéquat.

CExc, classe de gestion des erreurs

- Les erreurs système modifient la variable globale `errno` : si une seconde erreur apparaît avant de pouvoir prendre connaissance de la valeur d'`errno`, on perd la première erreur...
- On souhaite donc interrompre l'exécution d'un programme précisément à l'endroit où une erreur système surgit, afin de transmettre un maximum de renseignements au code appelant.
- Idée : une classe *CExc* dérivée de la classe standard *exception*, et dotée d'une fonction d'affichage adéquat.
- Les exceptions C++ interrompent le flot d'exécution du programme, remontant au premier *catch* qui peut les traiter.

Gestion des erreurs avec try-catch

Les exceptions C++ interrompent le flot d'exécution du programme, remontant au premier *catch* qui peut les traiter :

```
int main(int argc, char* argv[]) {
  //...
  try{
  // corps de l'exercice appelant des fonctions
  // susceptibles de lever des exceptions
  }
  catch(const Cexc & Exc) {
  // affichage des informations relatives
  // a l'erreur
  }
  //...
}
```

Classe CExc et surcharge de <<

```
class CExc: public std::exception {
protected:
  std::string m_info, m_nomf;
  int m_descrfic; bool m_qdescrfic;
protected:
  std::ostream & _Edit (std::ostream & os) const;
public:
  CExc (const std::string & NomFonction,
        const std::string & Info) throw ();
  CExc (const std::string & NomFonction,
        int Descrfic) throw ();
  virtual ~ CExc (void) throw ();
  friend std::ostream & operator << (std::ostream & os,
                                     const CExc & Item);
};

nsSysteme::CExc::CExc (const std::string & NomFonction,
                       const std::string & Info) throw ()
: m_info(Info), m_nomf(NomFonction),
  m_descrfic(-1), m_qdescrfic(false) {}
```

Wrappers des fonctions système

- Chaque fonction utilisée est placée dans un *wrapper* de même nom mais commençant par une majuscule, par exemple `Stat()` pour la fonction système `stat()`
- Ce wrapper sert de surcouche permettant de gérer les erreurs *via* la classe *CExc*. Ainsi pour la définition de `Stat()` :

```
Stat(const char * ChemFic, struct stat * buf)
// throw (CExc)
{
  if (::stat(chemFic, buf))
    throw CExc("stat()", chemFic);
} // Stat()
```

Wrappers des fonctions système

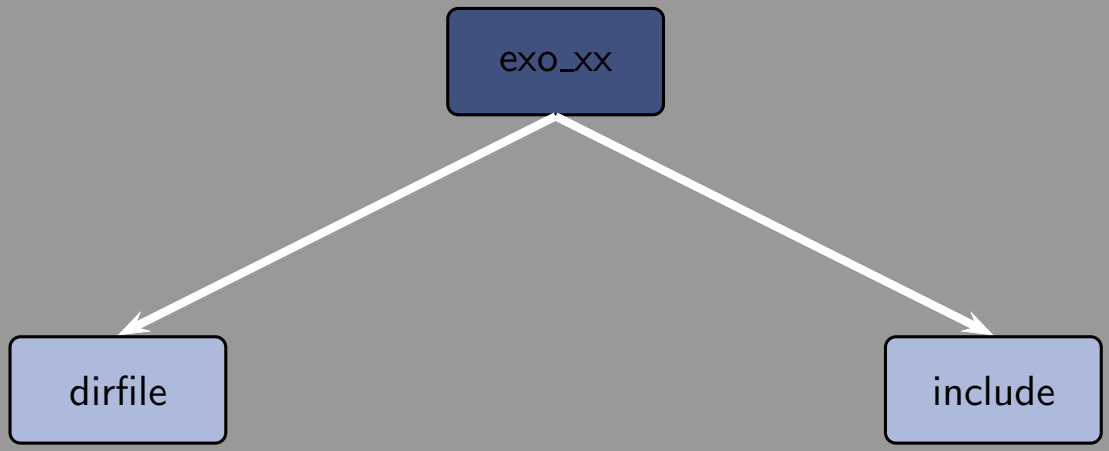
- Chaque fonction utilisée est placée dans un *wrapper* de même nom mais commençant par une majuscule, par exemple `Stat()` pour la fonction système `stat()`
- Ce wrapper sert de surcouche permettant de gérer les erreurs *via* la classe *CExc*. Ainsi pour la définition de `Stat()` :

```
Stat(const char * ChemFic, struct stat * buf)
// throw (CExc)
{
  if (::stat(chemFic, buf))
    throw CExc("stat()", chemFic);
} // Stat()
```

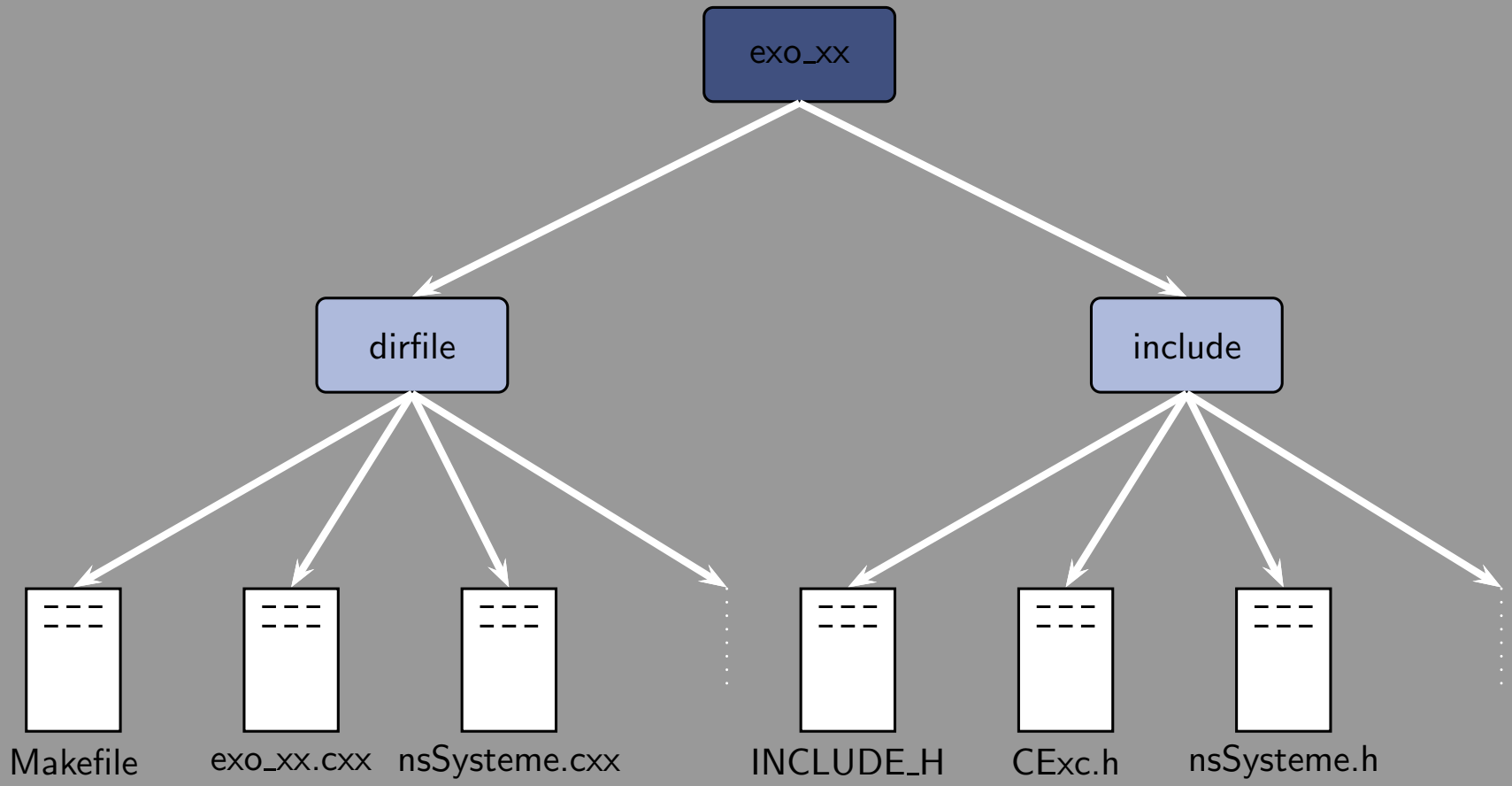
→ *Détails en TD/TP...*

Organisation des répertoires pour chaque TP

Organisation des répertoires pour chaque TP



Organisation des répertoires pour chaque TP



Organisation des répertoires pour chaque TP

- *dirfile* (Makefiles, fichiers .cxx, exécutables...)

- *include* (Fichiers d'en-tête, macros...)

Organisation des répertoires pour chaque TP

- *dirfile* (Makefiles, fichiers .cxx, exécutables...)
  - *Makefile*
  - *exo_xx.cxx*
  - *nsSysteme.cxx* : définition des wrappers non inline des fonctions système
  - *...*
- *include* (Fichiers d'en-tête, macros...)

Organisation des répertoires pour chaque TP

- *dirfile* (Makefiles, fichiers .cxx, exécutables...)
  - *Makefile*
  - *exo_xx.cxx*
  - *nsSysteme.cxx* : définition des wrappers non inline des fonctions système
  - *...*
- *include* (Fichiers d'en-tête, macros...)
  - *INCLUDE_H* : fichier de macros pour le Makefile
  - *CExc.h* : classe des exceptions système
  - *nsSysteme.h* : prototypes des wrappers des fonctions système dans l'espace de noms correspondant
  - *...*