Laboratoire Méthodes Formelles

CentraleSupélec | université PARIS-SACLAY

LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION

GESTION DES PROCESSUS ET DES THREADS

🎓 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

PROGRAMME vs PROCESSUS

- Un **programme** est un ensemble d'instructions (code exécutable) écrit dans un langage de programmation et stocké sur un support (disque, SSD, etc.).
  - le programme est passif → c'est **un fichier** sur le disque tant qu'il n'est pas exécuté.
  - ne consomme aucune ressource système tant qu'il n'est pas lancé.

- Un **processus** est un programme en cours d'exécution.
  - c'est une entité active, créée et gérée par le système d'exploitation.
  - **Exemple** → lorsque on ouvre le programme Firefox, il devient un processus.

- **Un programme** peut donner naissance à plusieurs processus.
  - **Exemple** → si on ouvres plusieurs fenêtres de Firefox, on aura plusieurs processus.

- **Un processus** est forcément créé par un autre processus
  - le système d'exploitation par exemple
  - l'appel système `fork()` sous **UNIX/Linux**

PROGRAMME vs PROCESSUS

QUELQUES EXEMPLES ...

- Dans **un OS moderne**, plusieurs processus s'exécutent en parallèle :
  - **les processus de l'OS** (gestion du réseau, gestion des utilisateurs, ...)
  - le **shell** (toute l'interface graphique → plusieurs processus).
  - l'IDE **VSCode** avec lequel je tape ce cours.
  - le navigateur **Chrome** qui me permet de visualiser ce cours.

- Commande `top` sous **Unix/Linux** → afficher en temps réel la liste des processus actifs et l'utilisation des ressources du système (CPU, mémoire, etc.).

```
$ top -stats command,pid,ppid,cpu,pstate

COMMAND              PID     PPID    %CPU   STATE
launchd              1       0       8.5    sleeping
top                  74562   34386   3.7    running
Terminal             34311   1       3.0    sleeping
WindowServer         169     1       2.5    sleeping
...
```

PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

RÔLE DE L'OS

- **Création et suppression de processus**
  - Programme $\longrightarrow$ processus
  - **Munir** le programme des **informations** nécessaires pour son **exécution**
- **Suspension et reprise**
  - Multiprogrammation $\longrightarrow$ **interrompre et reprendre** les processus
  - **Gestion de la mémoire** où sont stockées les processus interrompus
- **Communication et synchronisation**
  - Partage de données entre plusieurs processus
  - **Consistance** de l'état de la mémoire

RÔLE DE L'OS

- **Création et suppression de processus**
  - Programme $\longrightarrow$ processus
  - **Munir** le programme des **informations** nécessaires pour son **exécution**
- **Suspension et reprise**
  - Multiprogrammation $\longrightarrow$ **interrompre et reprendre** les processus
  - **Gestion de la mémoire** où sont stockées les processus interrompus
- **Communication et synchronisation**
  - Partage de données entre plusieurs processus
  - **Consistance** de l'état de la mémoire

CRÉATION DE PROCESSUS

Rappel $\longrightarrow$ un processus est forcément créé par un autre processus

L'**OS** crée un processus à la demande :

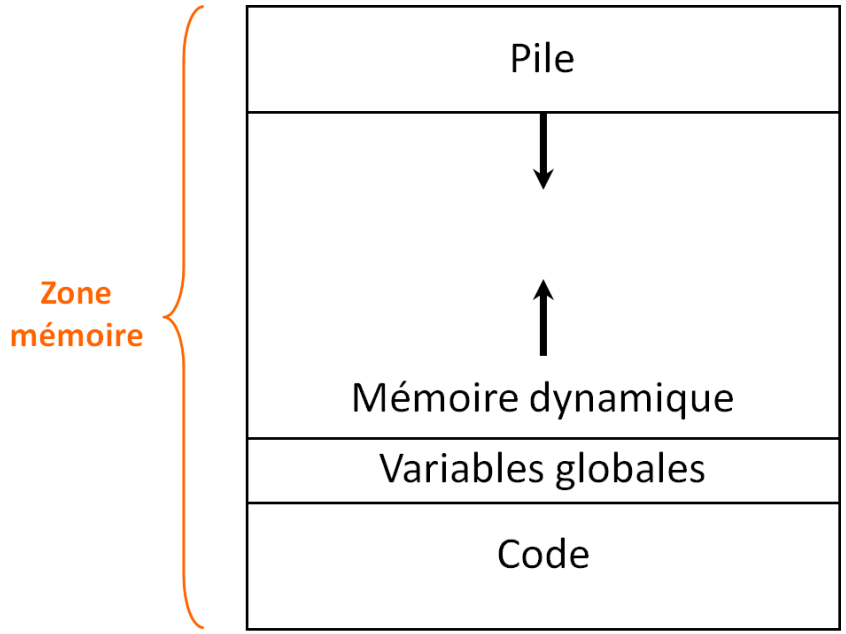
- Lorsqu'un utilisateur lance un programme.
- Lorsqu'un processus engendre un autre processus:
  - **sous UNIX**/**Linux** $\longrightarrow$ 2 appels système
    - `fork` pour créer un processus à partir du processus courant (le processus est dupliqué)
    - `exec` pour **remplacer** le processus courant par un autre processus
  - **sous WINDOWS**
    - `createprocess` pour créer un processus (le processus courant est **conservé**)

Lorsque l'**OS** crée un processus $\longrightarrow$ il charge le code **en mémoire**, initialise les structures (**PCB**), et le met dans la file des processus prêts à exécuter.

L'ESPACE MÉMOIRE D'UN PROCESSUS

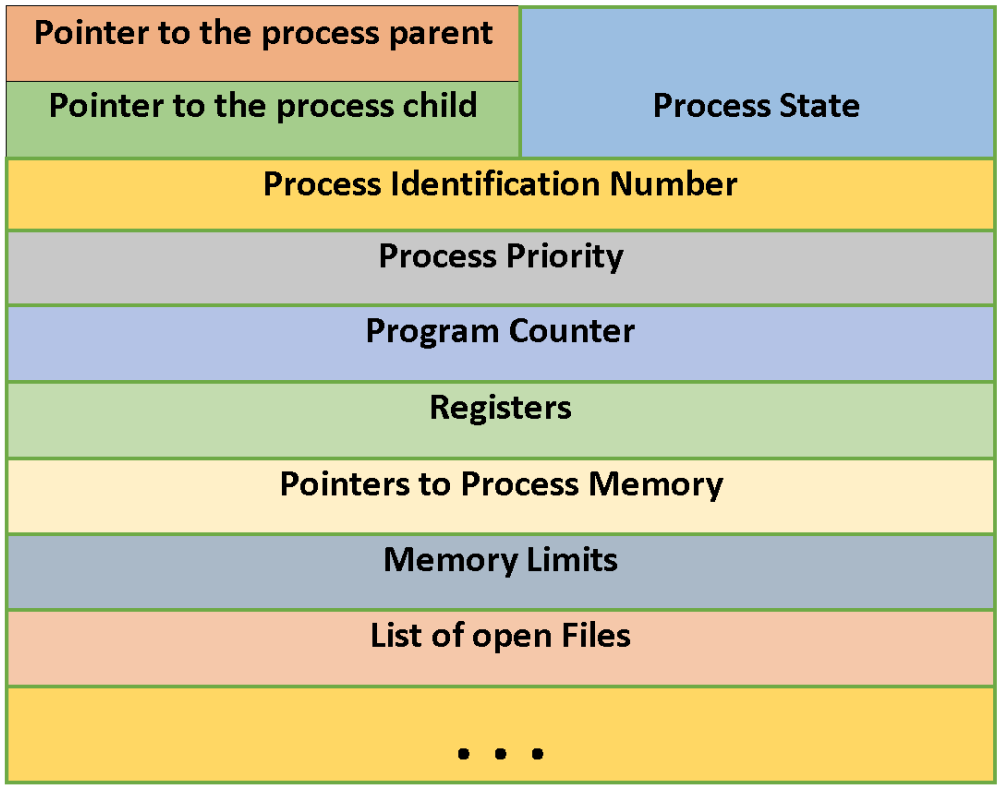
Le processus a **son propre espace mémoire**, son compteur ordinal (PC), ses registres, ses descripteurs de fichiers, etc.

- **Code exécutable** en lecture seule (taille connue)
- **Variables/Constantes globales** (taille connue)
- **Pile** pour gérer les contextes et les variables temporaires (taille inconnue)
- **Le TAS** ou la **Zone d'allocation dynamique de mémoire** (taille inconnue)



PROCESS CONTROL BLOCK - PCB

Structure de données contenant des informations utilisée par le système d'exploitation pour **définir** et **gérer un processus**.

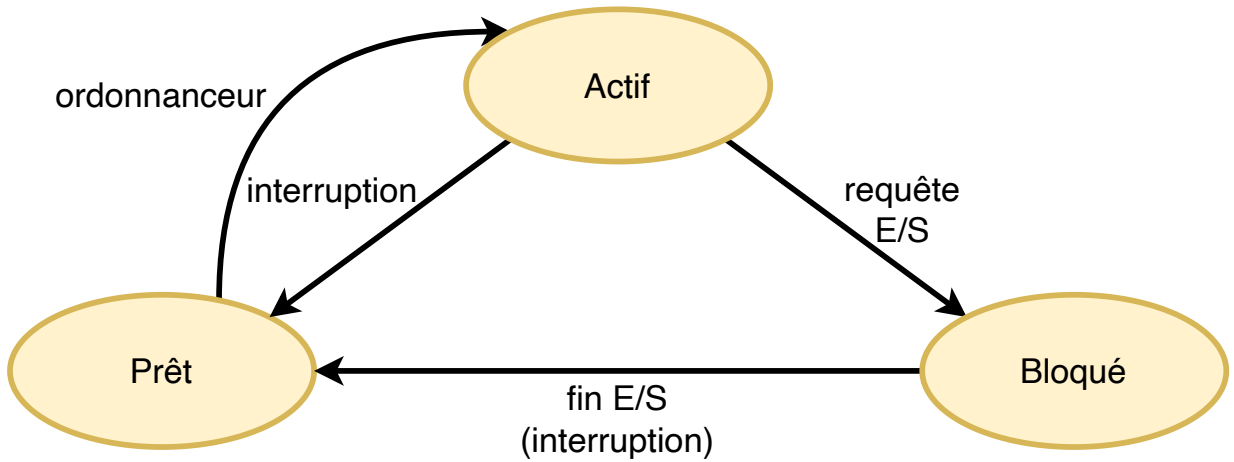


Tout ce qui doit être sauvegardé pour **interrompre** puis **reprendre** l'exécution d'un processus.

RÔLE DE L'OS

- **Création et suppression de processus**
  - Programme $\longrightarrow$ processus
  - **Munir** le programme des **informations** nécessaires pour son **exécution**
- **Suspension et reprise**
  - Multiprogrammation $\longrightarrow$ **interrompre et reprendre** les processus
  - **Gestion de la mémoire** où sont stockées les processus interrompus
- **Communication et synchronisation**
  - Partage de données entre plusieurs processus
  - **Consistance** de l'état de la mémoire

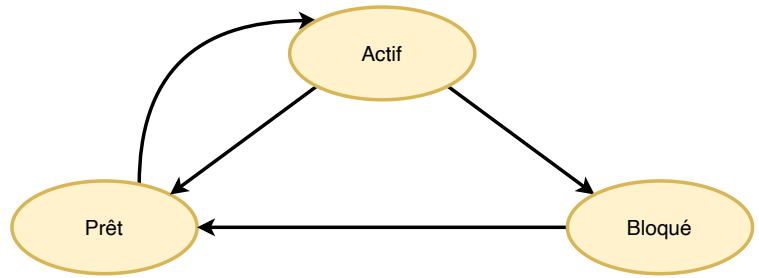
CYCLE DE VIE DU PROCESSUS



[0-1] processus en exécution, [0-n] processus prêts, [0-n] processus en attente

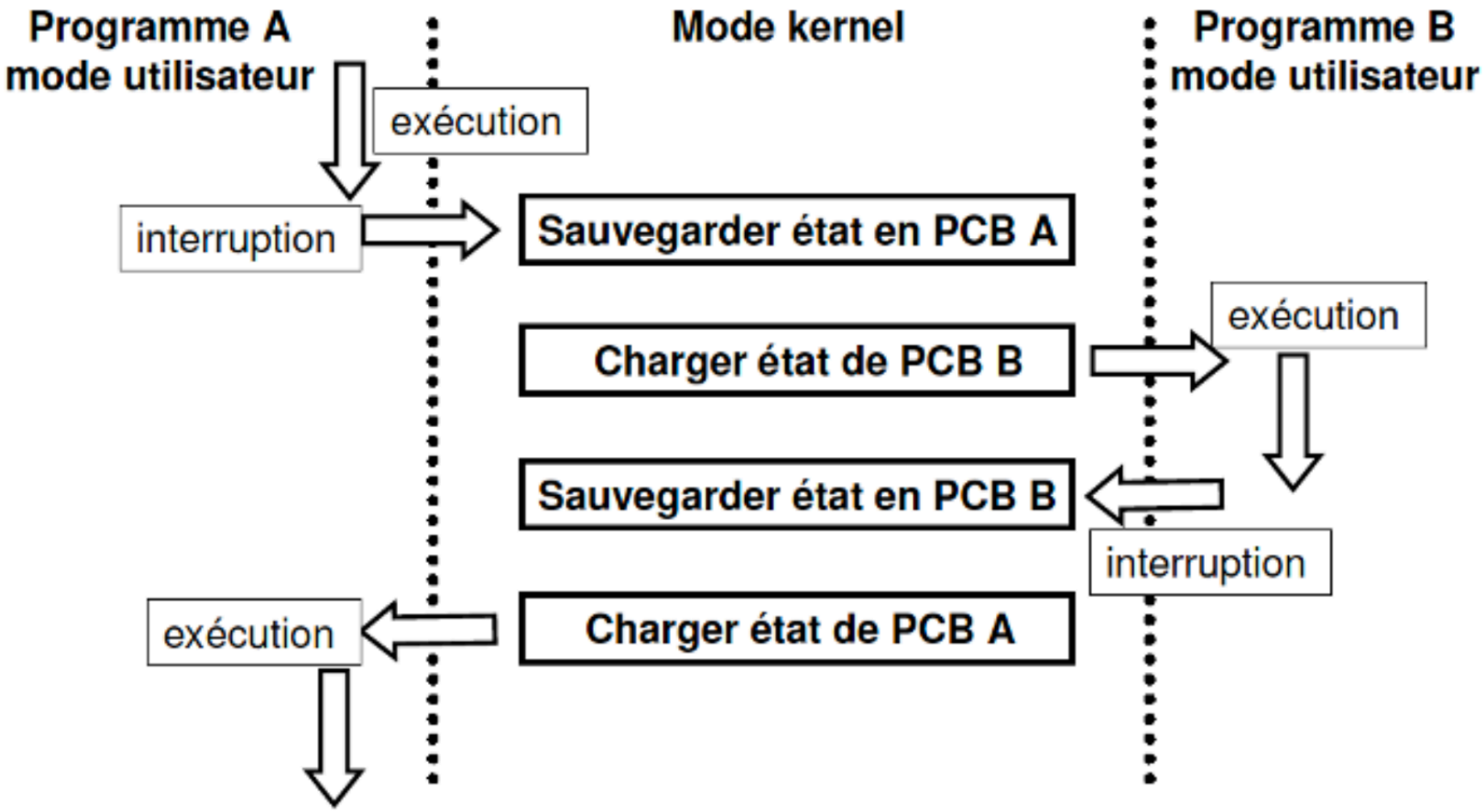
SUSPENSION DE L'EXÉCUTION

- Le processus en exécution laisse la main si:
  - son quantum a expiré → état **Prêt**
  - crée un processus fils (`fork`) → état **Prêt**
  - fait une demande d'E/S → état **Bloqué**
  - exécute `wait` → état **Bloqué**



COMMUTATION DE PROCESSUS

Changements de contexte



RÔLE DE L'OS

- **Création et suppression de processus**
  - Programme $\longrightarrow$ processus
  - **Munir** le programme des **informations** nécessaires pour son **exécution**
- **Suspension et reprise**
  - Multiprogrammation $\longrightarrow$ **interrompre et reprendre** les processus
  - **Gestion de la mémoire** où sont stockées les processus interrompus
- **Communication et synchronisation**
  - Partage de données entre plusieurs processus
  - **Consistance** de l'état de la mémoire

ACTIONS DE L'OS

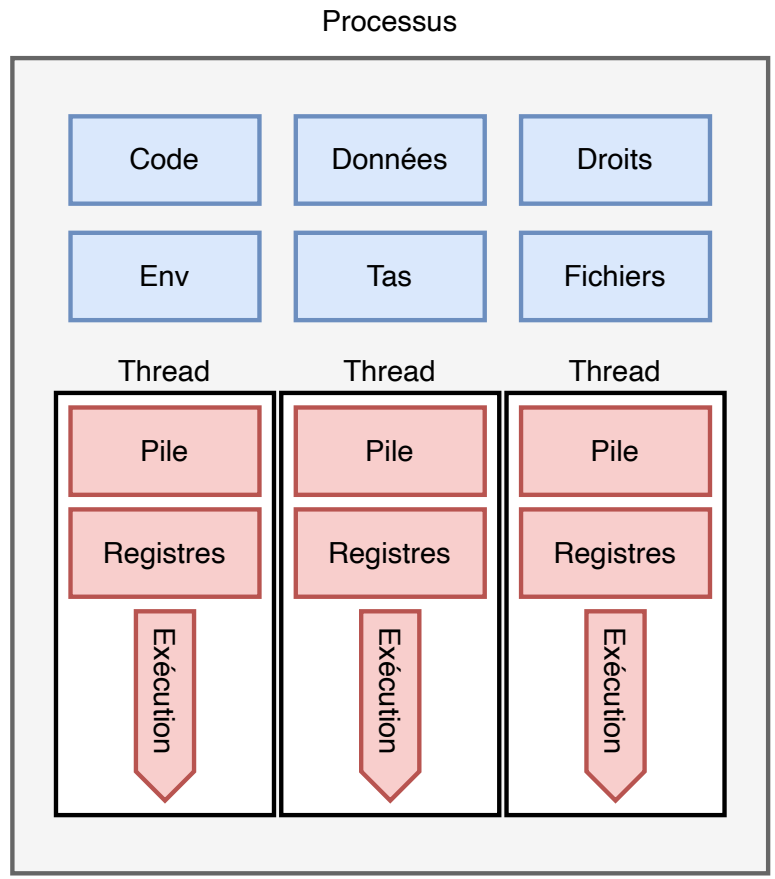
- **Mémoire** → chaque processus a son propre espace mémoire
  - pas de problème de consistance mémoire/processeur
- **Verrous** (`locks`) → un processus verrouille l'accès à une ressource
  - gestion de l'accès à une section critique
  - file d'attente pour l'accès à la ressource
- **Outils** et Algorithmes de **synchronisation**
  - l'**OS** propose différents outils de synchronisation
  - files de messages, mémoire partagée, tubes (**pipes**), sockets, etc.
  - voir cours Synchronisation des processus (**prochain chapitre**)

PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

THREAD vs PROCESSUS

- **Un thread** est l'unité d'exécution de base d'un processus, décrit par son point d'exécution et son état interne (registres, pile, ...).
  - **un processus** peut avoir **plusieurs threads**
  - les threads partagent le **code et les données** du processus (l'**espace mémoire du processus**)
  - chaque thread a **sa propre pile** et partage les mêmes **variables globales** avec les autres threads

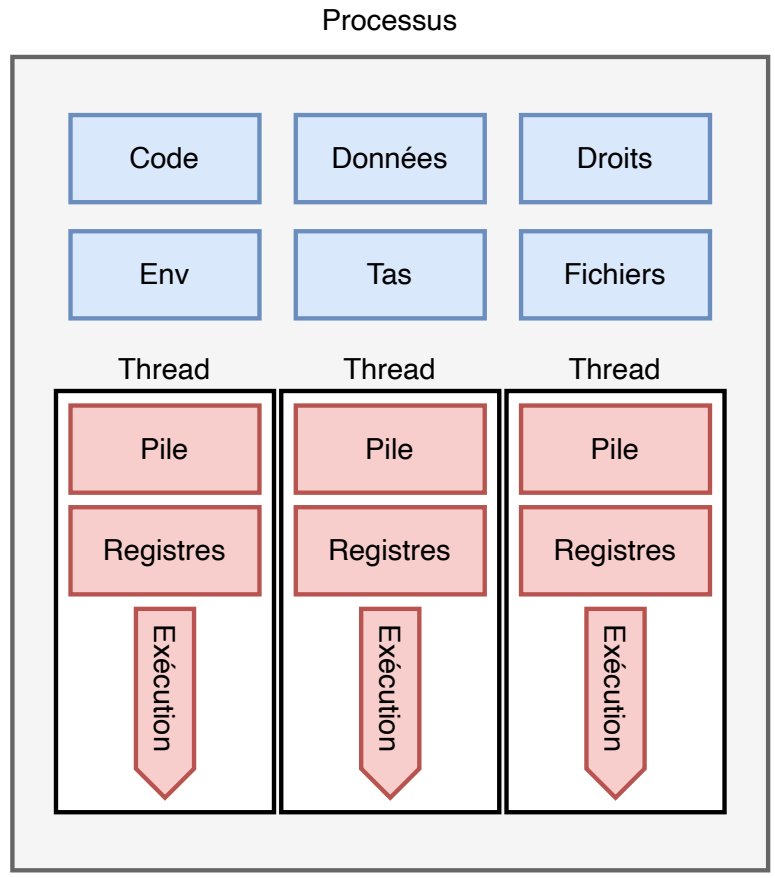


- **Un thread** est également appelé **processus léger**.

- **Exemple** → un navigateur web
  - le navigateur entier = un processus.
  - chaque onglet ou tâche = un thread à l'intérieur du processus.

UTILISATION DES THREADS

- Le **Thread** permet la gestion de **plusieurs traitements en parallèle** dans le même processus.
  - création d'un thread ≡ exécuter une fonction en parallèle par un appel système :
    sous **Unix** → `pthread_create()`
    sous **Windows** → `CreateThread()`
  - le passage de ressources entre threads facilité.
  - les variables dans le contexte du même processus.



- **Performances améliorées** par rapport aux processus :
  - création plus rapide;
  - changement de contexte plus rapide;
  - partage du code → gain de place en mémoire;
  - réactivité → le processus s'exécute pendant qu'un thread est en attente.

PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

MULTIPROGRAMMATION vs TEMPS PARTAGÉ

- **Multiprogrammation**
  - le but $\rightarrow$ maximiser l'utilisation du **CPU** (éviter qu'il reste inactif)
  - la capacité d'un **OS** à garder plusieurs processus en mémoire.

- **Temps partagé (time sharing)**
  - le but $\rightarrow$ améliorer la réactivité et le partage équitable du **CPU**.
  - le **CPU** est partagé entre plusieurs processus.
  - chaque processus utilise le **CPU** pendant un **quantum de temps**.
  - l'**OS** alterne rapidement entre processus
    $\rightarrow$ donner l'illusion qu'ils s'exécutent simultanément

- L'**OS** gère ces mécanismes via :
  - un ordonnanceur (**scheduler**) décidant quel processus obtient le **CPU**
  - des files d'attente de processus (**prêt**, **actif**, et **bloqué**),
  - des **interruptions** permettant de reprendre le contrôle à la fin d'un quantum.

L'ORDONNANCEMENT

- L'ordonnancement est le mécanisme par lequel l'**OS** décide quel processus obtient le **CPU** et pendant combien de temps (**quantum de temps**).

- Dans l'analyse d'un ordonnacement, on ne s'intéresse pas à la durée totale d'un processus ... mais au **temps** pendant lequel il va **garder le CPU** :
  - ➠ jusqu'à ce qu'il termine (fin d'éxécution)
  - ➠ jusqu'à ce qu'il fasse une E/S ($\rightarrow$ à l'état **bloqué**)
  - ➠ jusqu'à ce que l'**OS** décide que ce n'est plus son tour (fin de **quantum**, $\rightarrow$ à l'état **actif**)

- Le remplacement d'un processus en cours d'exécution a un coût (**commutation de contexte**)
  - exécution de la routine d'ordonnancement
  - sauvegarde du contexte (registres + **PC**)
  - chargement d'un nouveau contexte

LES CRITÈRES D'UN ORDONNANCEMENT

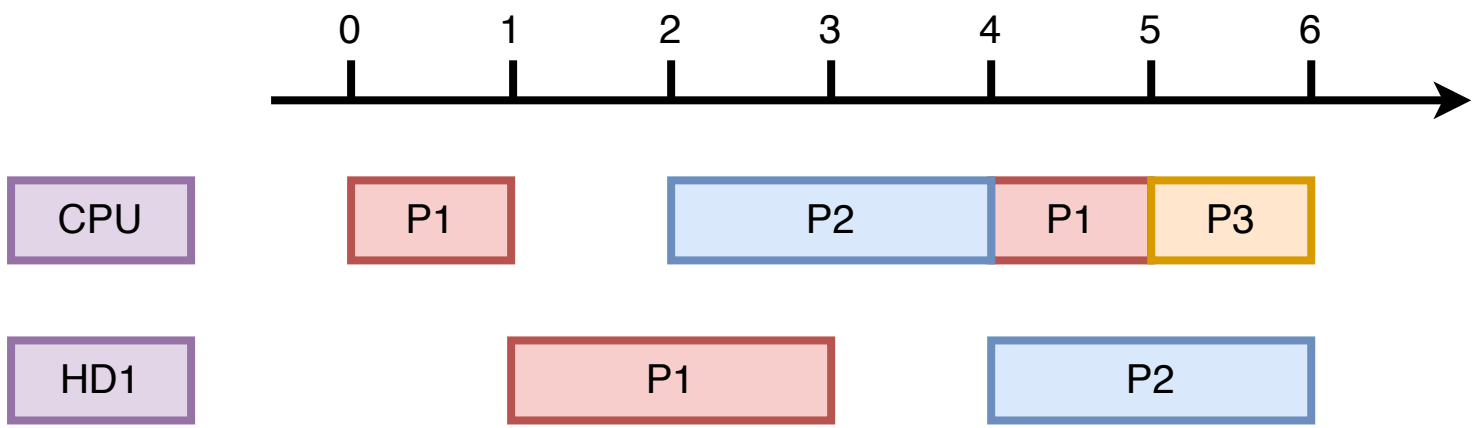
- être **équitable** (**fairness**) vis-à-vis des processus ;
- maximiser l'utilisation globale du processeur (**efficace**) ;
- avoir un comportement le plus **prévisible** possible ;
- permettre un maximum d'utilisateurs interactifs (**réactif**) ;
- **minimiser le surcoût** (**overhead**) lier à la parallélisation ;
- assurer une **utilisation maximale** des ressources ;
- gérer convenablement les **priorités**.

Objectif $\rightarrow$ choisir un **algorithme d'ordonnancement** qui minimise ou maximise **un critère**.

LES CRITÈRES D'UN ORDONNANCEMENT

LE TAUX D'UTILISATION

Proportion de temps pendant lequel le **CPU** est utilisée

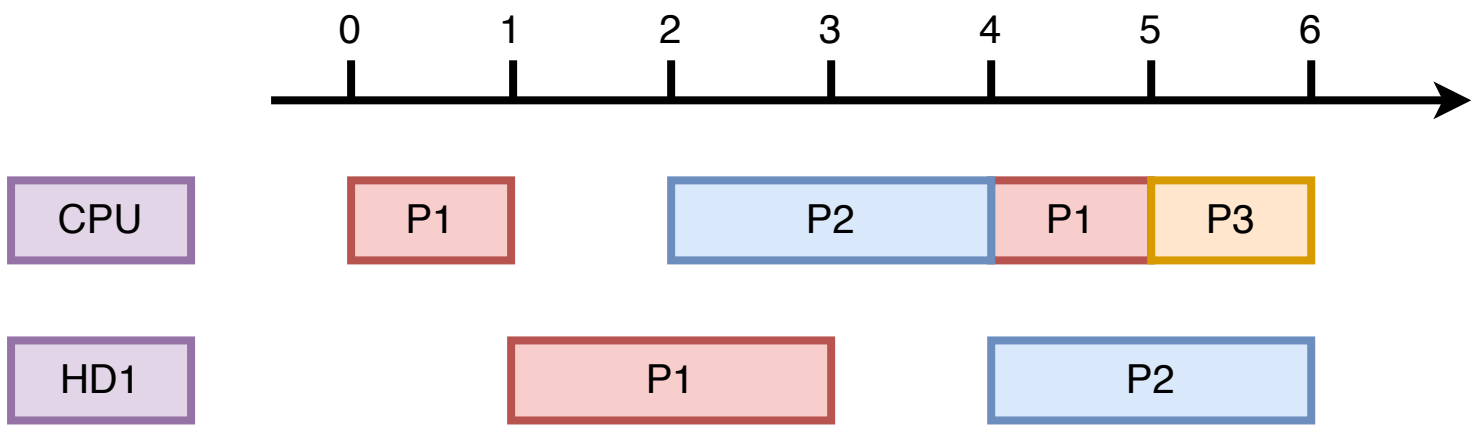


$$taux = \frac{5}{6} = 83\% \rightarrow \text{à } \textbf{maximiser}$$

LES CRITÈRES D'UN ORDONNANCEMENT

LE DÉBIT

Nombre moyen de processus traités par unité de temps

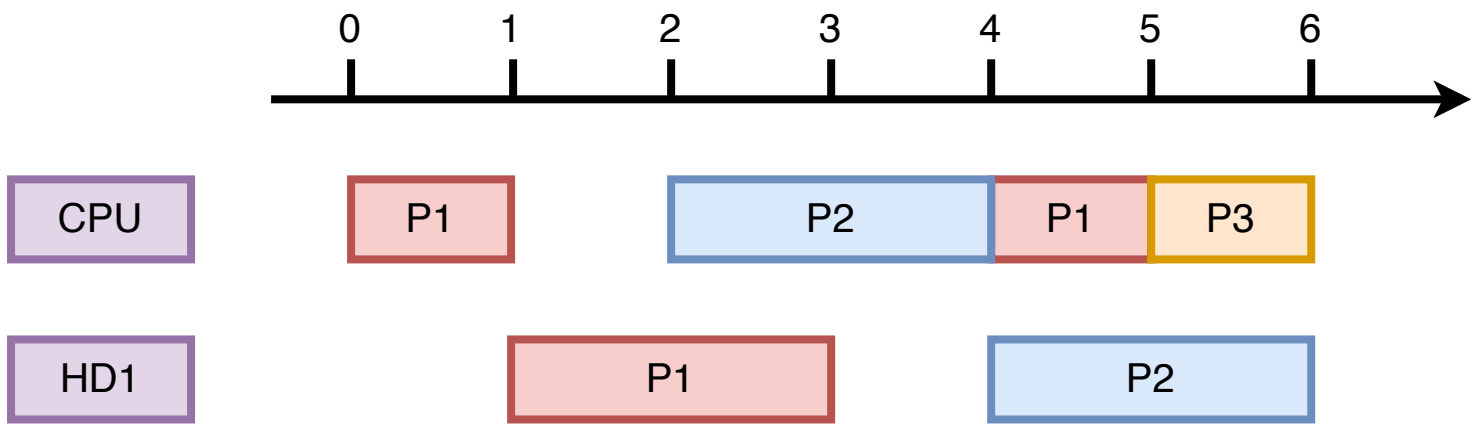


$$nb = \frac{3}{6} = 0.5 \rightarrow \text{à } \textbf{maximiser}$$

LES CRITÈRES D'UN ORDONNANCEMENT

LE TEMPS D'ATTENTE

Temps total passé **par tous les processus** dans la file **prêt**



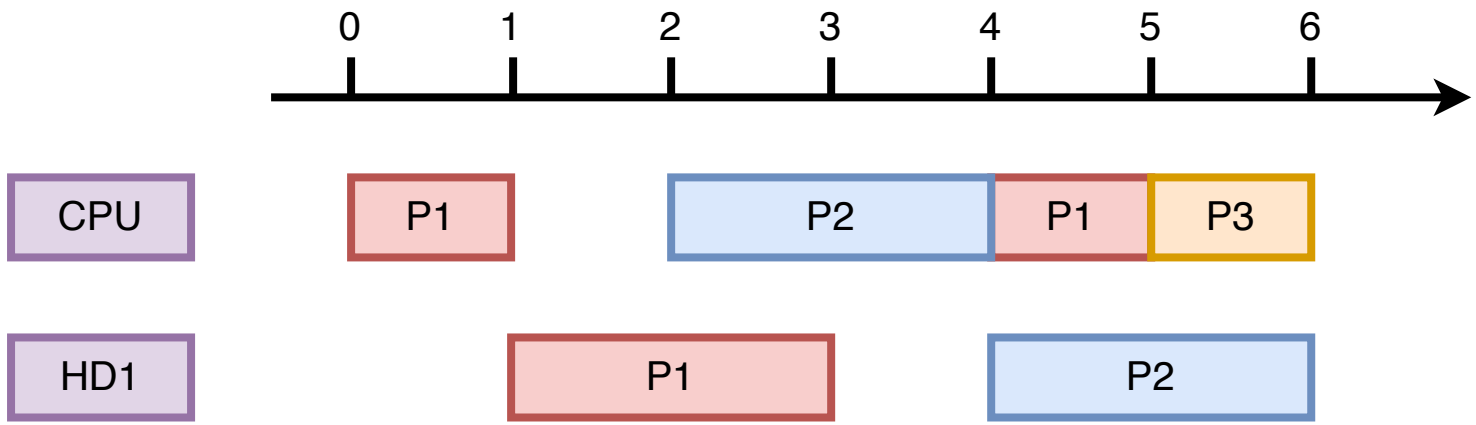
$$moyenne = \frac{1+2+5}{3} = 2.66 \rightarrow \text{à } \textbf{minimiser}$$

LES CRITÈRES D'UN ORDONNANCEMENT

LA ROTATION

Durée d'un processus $\rightarrow$ **temps de réponse** du processus

$(date\_terminaison - date\_creation)$



$moyenne = \frac{5+6+6}{3} = 5.66 \rightarrow$ à **minimiser**

ORDONNANCEMENT

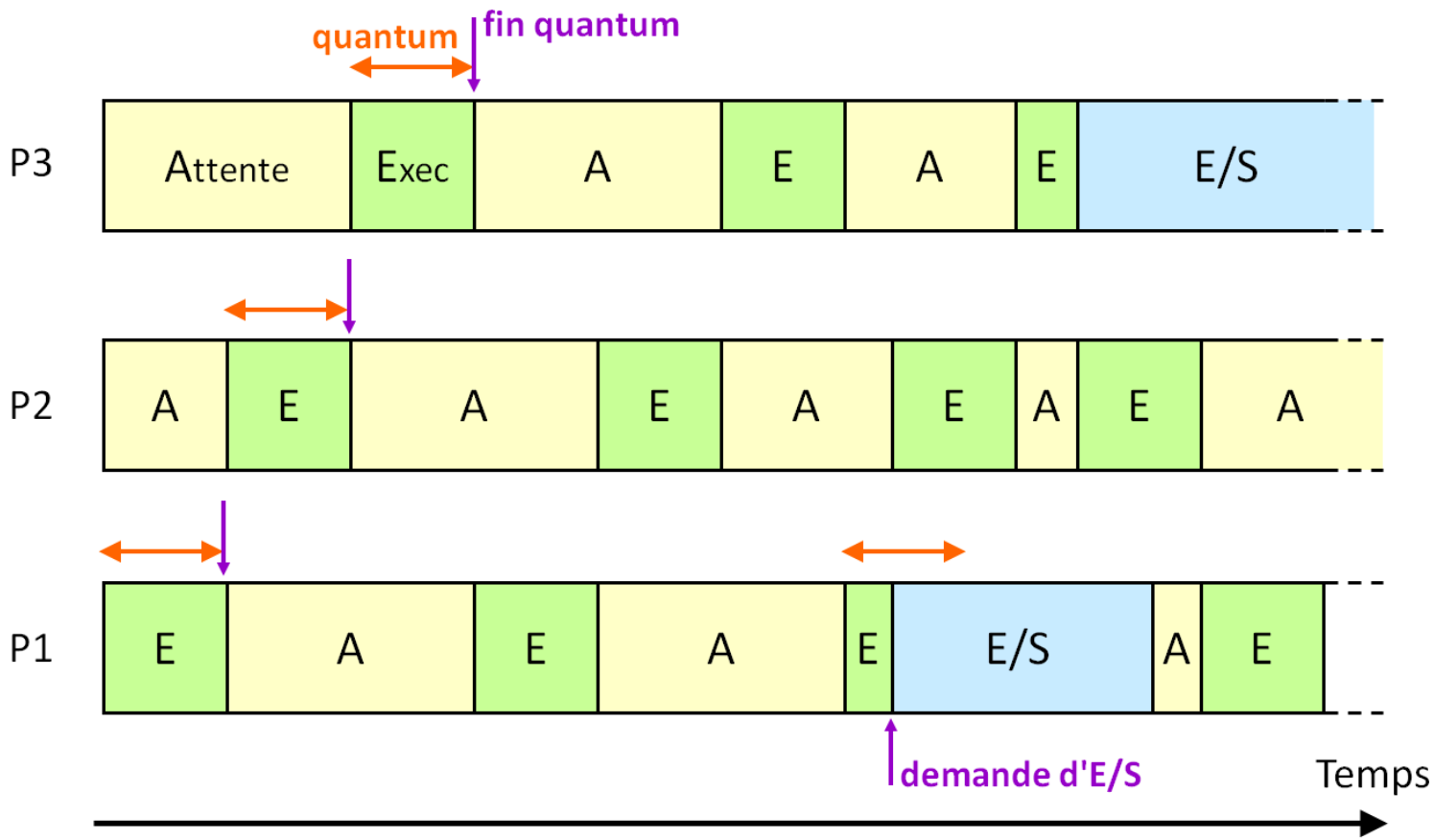
PRÉEMPTIF vs NON PRÉEMPTIF

- Ordonnancement **préemptif** (**avec réquisition**)
  - l'**OS** peut interrompre un processus en cours pour en exécuter un autre :
    - quand le **quantum** est écoulé
    - lorsqu'**un processus plus prioritaire** demande à utiliser le **CPU**
  - assure une meilleure réactivité
  - indispensable pour les **systèmes temps réel** ou les **systèmes interactifs**.

- Ordonnancement **non préemptif**
  - un processus garde le **CPU** jusqu'à ce que :
    - il se termine
    - il se bloque (en attente d'une ressource)
  - plus simple, mais moins réactif.

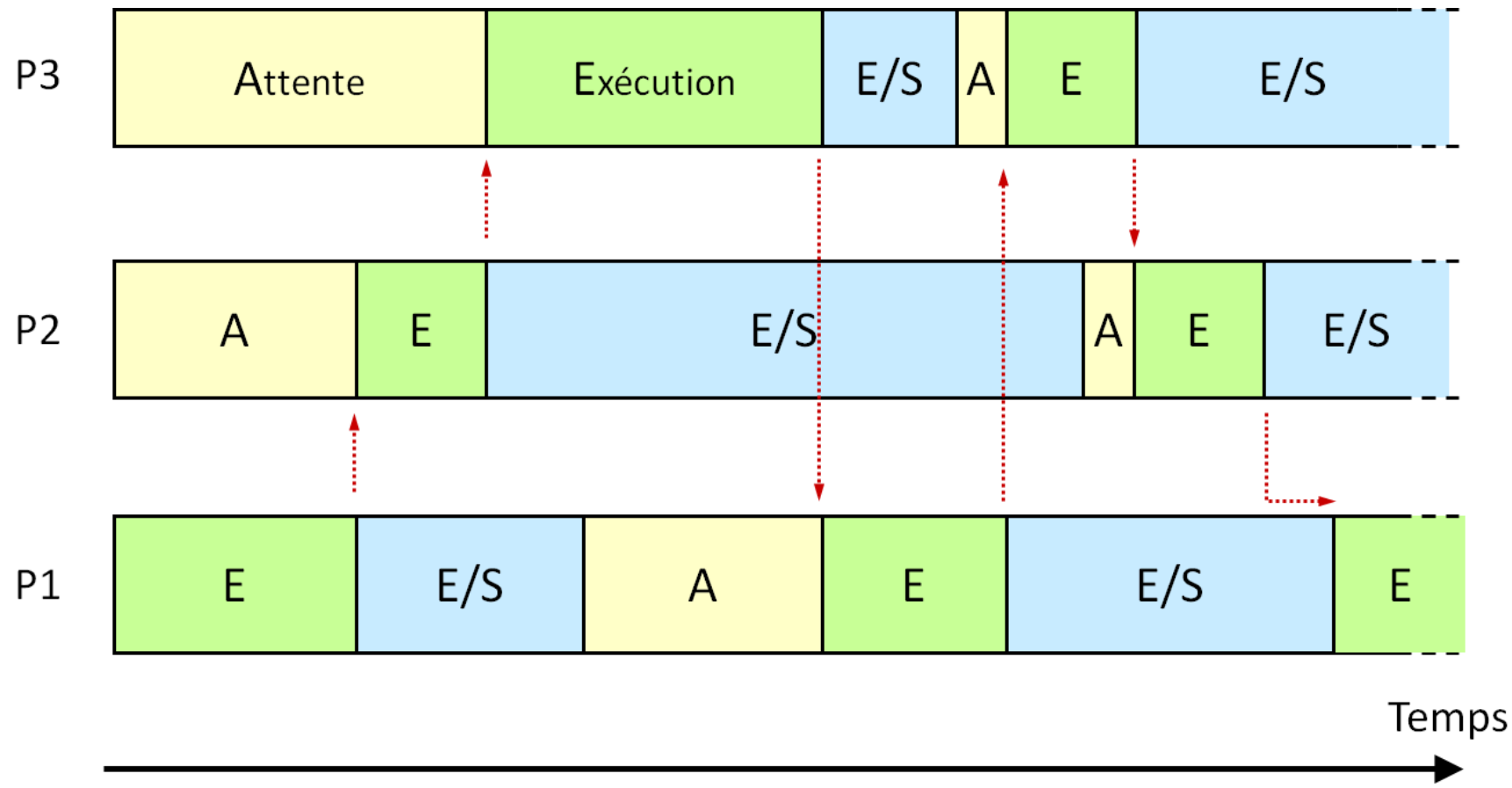
ORDONNANCEMENT

PRÉEMPTIF



ORDONNANCEMENT

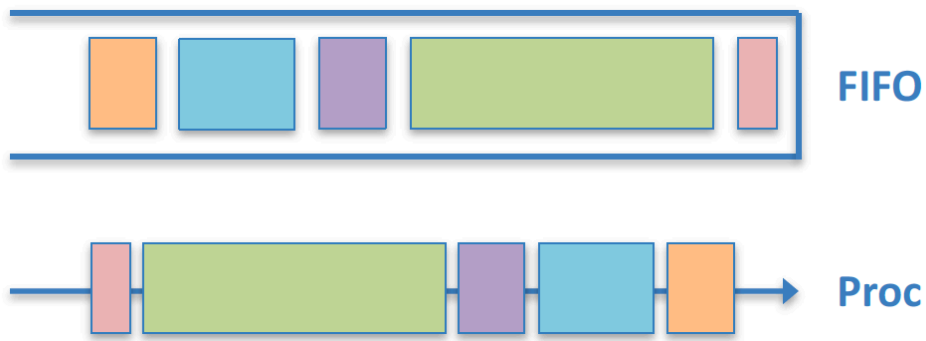
NON PRÉEMPTIF



DE NOMBREUSES STRATÉGIES

FIFO SANS PRÉEMPTION

- **Principe**:
  - premier arrivé, premier servi.



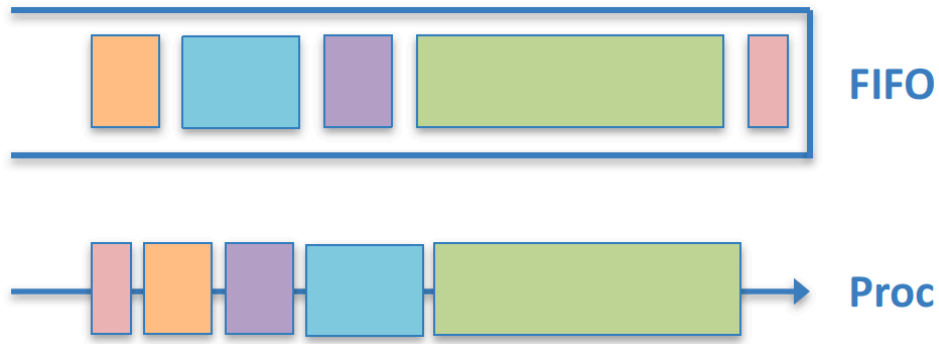
- **Avantages** :
  - ✔ Simple à implémenter
  - ✔ Équitable dans l'ordre d'arrivée

- **Inconvénients** :
  - ✘ Peu efficace → des processus ont "longtemps" le processeur
  - ✘ Peu réactif → des processus peuvent attendre longtemps

DE NOMBREUSES STRATÉGIES

PLUS COURT D'ABORD

- **Principe** :
  - priorité au processus le plus court



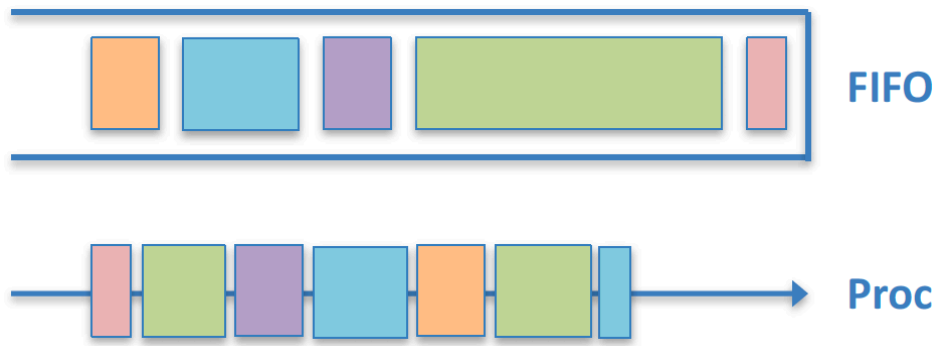
- **Avantages** :
  - ✔ Réactif → avantage aux petits processus
  - ✔ Optimal sur le temps d'attente moyen

- **Inconvénients** :
  - ✘ Pas efficace → les processus ont moins le processeur s'il y a beaucoup d'E/S
  - ✘ Non équitable → on peut avoir une famine des gros processus

DE NOMBREUSES STRATÉGIES

ROUND-ROBIN (FIFO PRÉEMPTIF)

- **Principe** :
  - ➠ **FIFO** avec **quantum** de temps



- **Avantages** :
  - ✔ Équitable → tout le monde a le processeur
  - ✔ Réactif → les processus n'attendent pas
- **Inconvénients** :
  - ✘ Temps d'attente moyen plus élevé
  - ✘ Beaucoup de commutations → surcoût!

DE NOMBREUSES STRATÉGIES

FILES DE PRIORITÉS

- Plusieurs files d'attente
- La durée des quantums peut dépendre de la file

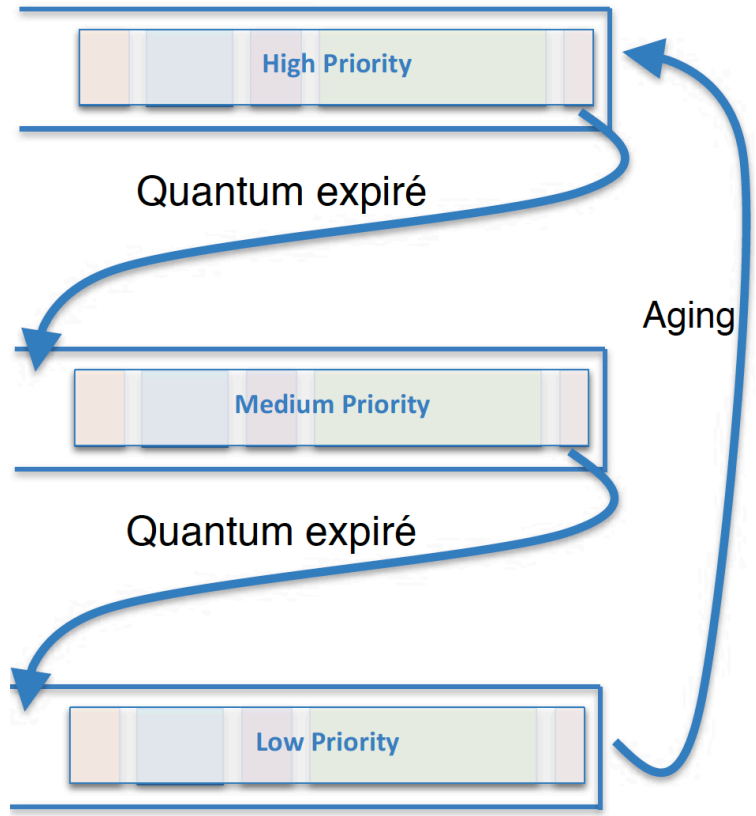
✔ favorise le temps de réponse des processus systèmes

✘ Comment choisir la priorité ?

DE NOMBREUSES STRATÉGIES

FILES DE PRIORITÉS DYNAMIQUES

- La priorité d'un processus peut être modifié par l'OS
  - par exemple sortie d'attente I/O
  - attente longue en file basse priorité
- **Utilité** $\longrightarrow$ Windows NT, MacOS X, Linux
- Notion de **classe de priorités**



EXEMPLE - SOLARIS

OS DES MACHINES SUN ENTRE 1993 ET 2000

Principe

- Quantum de temps selon priorité (0 = priorité max)
- Priorité modifiée à la fin du quantum ou après une E/S
  - prioritaire $\rightarrow$ grand quantum
  - quantum consommé $\rightarrow$ priorité augmentée
  - E/S $\rightarrow$ priorité diminuée

EXEMPLE - WINDOWS XP ET APRÈS

Principe

- Priorité + Round Robin
  - gérée au niveau des threads uniquement
  - 32 niveaux de priorité
  - ordonnancement préemptif par niveau de priorité
- Priorité dynamique
  - baissée à la fin du quantum
  - remontée après chaque E/S $\rightarrow$ interface graphique plus réactive!

EXEMPLE - LINUX, MACOS X

Principe

- 2 algorithmes:
  1. Tâches **temps réel** $\rightarrow$ préemptif selon priorité, **FIFO** ou **RR** par priorité
  2. Autres tâches $\rightarrow$ temps partagé équitable

- Système de crédits
  - chaque processus dispose d'un **crédit** = sa priorité
  - le processus le plus riche l'emporte (préemptif)
  - perte de 1 crédit à la fin du quantum
  - si aucun processus **prêt** n'a de crédit, **tous** les processus sont re-crédités $\rightarrow credit' = credit/2 + credit_{init}$

PLAN

Retour au plan - Retour à l'accueil

SYNTHÈSE

- Un **processus** est un programme exécuté par un processeur
- L'OS stocke les informations sur les processus dans un **PCB**
- L'OS assure la **consistance** des données en mémoire
- Les **threads** partagent le code, l'environnement et le tas
- **Ordonnancement** = choix d'un processus à exécuter
- Algorithmes d'ordonnancement :
  - FIFO
  - Plus court d'abord
  - Round-Robin

MERCI

Version PDF des slides

Retour à l'accueil - Retour au plan