Architecture matérielle, système d'exploitation, réseaux

Les processus

Objectifs pédagogiques :

- ✓ Décrire la création d'un processus et l'ordonnancement de plusieurs processus par un système
- ✓ Mettre en évidence le risque de l'interblocage (deadlock)

Toute machine est dotée d'un système d'exploitation qui a pour fonction de charger les programmes depuis la mémoire de masse et de lancer leur exécution en leur créant des processus (process en anglais), de gérer l'ensemble des ressources, de traiter les interruptions ainsi que les entrées-sorties et enfin d'assurer la sécurité globale du système.

1. Processus

Tous les systèmes d'exploitation "modernes" (Linux, Windows, MacOS, Android, iOS, ...) sont capables de gérer l'exécution de plusieurs processus "en même temps". En réalité, il s'agit plutôt d'une succession des processus "chacun son tour", mais de façon très fractionnée et rapprochée, ce qui donne à l'utilisateur une impression de simultanéité.

Ce découpage des tâches est appelé **multiplexage** : l'utilisation du processeur est découpée dans le temps pour que chaque application l'utilise sur un court laps de temps.

Pour gérer ces successions, le système d'exploitation attribue des "états" aux processus afin de les hiérarchiser.

1.1. Notion de processus

Un **processus** informatique (en anglais *process*), est défini par :

- un ensemble d'instructions à exécuter (un programme) ;
- un espace mémoire pour les données de travail ;
- éventuellement, d'autres ressources, comme des descripteurs de fichiers, des ports réseau, etc.

Un ordinateur équipé d'un système d'exploitation à temps partagé est donc capable d'exécuter plusieurs processus de façon "quasi-simultanée".

→ *Remarque* : S'il y a plusieurs processeurs (*core*, en anglais), l'exécution des processus est distribuée de façon équitable entre chacun d'entre eux.

Un processus peut être vu comme quelque chose qui prend un certain temps, donc qui a un début et (parfois) une fin. Un processus peut se rencontrer sous différents états.

Lorsqu'un processus est en train de s'exécuter, c'est-à-dire qu'il utilise les ressources du microprocesseur, on dit qu'il est dans l'**état "élu**".

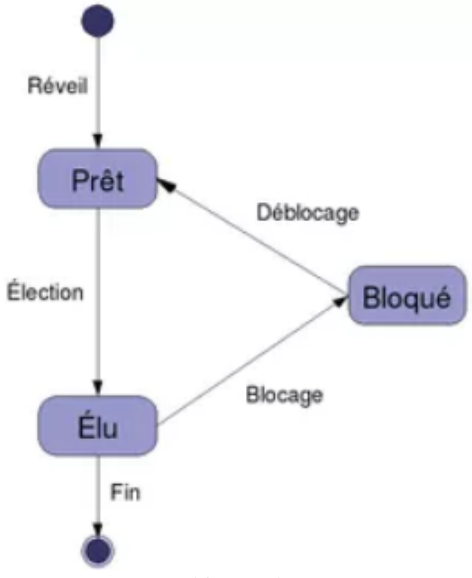


Diagramme d'état d'un processus

Un processus qui se trouve dans l'état *élu* peut demander à accéder à une ressource pas forcément disponible instantanément (typiquement : lire une donnée sur le disque dur). Le processus ne peut pas poursuivre son exécution tant qu'il n'a pas obtenu cette ressource. En attendant de recevoir cette ressource, il passe de l'état *élu* à **l'état "bloqué"**, afin – justement – de ne pas gaspiller de **cycles du processeur** au détriment d'autres processus.

Lorsque le processus finit par obtenir la ressource attendue, il peut potentiellement reprendre son exécution. Cependant, un seul processus peut se trouver dans un état "élu" (car le microprocesseur ne peut "s'occuper" que d'un seul processus à la fois). Le processus qui vient de recevoir la ressource attendue ne va donc pas forcément pouvoir reprendre son exécution tout de suite : pendant qu'il était dans l'état "bloqué", un autre processus a "pris sa place". Un processus qui quitte l'état bloqué ne repasse pas forcément à l'état "élu", mais va, en attendant que "la place se libère", passer dans l'**état "prêt"**.

Le passage de l'état "prêt" vers l'état "élu" constitue l'opération "d'élection". Le passage de l'état élu vers l'état bloqué est l'opération de "blocage". Un processus est toujours créé dans l'état "prêt". Pour se terminer, un processus doit obligatoirement se trouver dans l'état "élu".

IMPORTANT : le "chef d'orchestre" qui attribue aux processus leur état "élu", "bloqué" ou "prêt" est le système d'exploitation.
→ On dit que l'OS gère l'**ordonnancement des processus** (un processus sera prioritaire sur un autre...).

Remarque : un processus qui utilise une ressource doit la "libérer" une fois qu'il a fini de l'utiliser afin de la rendre disponible pour les autres processus. Pour libérer une ressource, un processus doit obligatoirement être dans un état "élu".

Un processus peut-être démarré par un utilisateur par l'intermédiaire d'un périphérique ou bien par un autre processus : les **applications** des utilisateurs sont des ensembles de processus plus ou moins complexes.

Comme nous venons de le voir, le système d'exploitation est chargé d'allouer les ressources (mémoires, temps processeur, entrées/sorties) nécessaires aux processus.
Mais l'OS ne se contente pas de gérer cela :

- il s'assure que le fonctionnement d'un processus n'interfère pas avec celui des autres (**isolation**).
- il peut aussi fournir une API (Application Programming Interface) pour permettre la communication inter-processus (IPC).

Le système peut contrôler l'accès des processus aux ressources selon une **matrice de droits** (permissions d'accès) et également associer les processus aux utilisateurs, qui sont les récipiendaires d'un ensemble de droits d'accès : **un processus a les droits de l'utilisateur qui l'a démarré**.

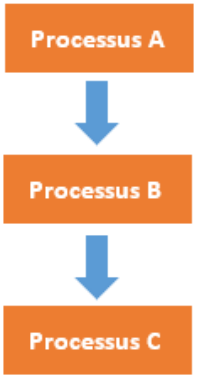
Un processus peut s'arrêter de plusieurs manières :

1. Arrêt normal (volontaire).
2. Arrêt pour erreur (volontaire).
3. Arrêt pour erreur fatale (involontaire).
4. Le processus est arrêté par un autre processus (involontaire).

La plupart des systèmes offrent la distinction entre **processus *lourd*** (tels que nous les avons décrits), qui sont a priori complètement isolés les uns des autres, et ***processus légers*** (*threads*, en anglais), qui ont un espace mémoire (et d'autres ressources) en commun.

Dans le cas de processus comportant plusieurs processus légers (ou suivant l'expression souvent utilisée multi-thread), il existe un état du processeur (un contexte d'exécution) distinct pour chaque processus léger.

1.2. Création d'un processus



Un processus peut créer un ou plusieurs processus à l'aide d'une commande système ("fork" sous les systèmes de type Unix). Imaginons un processus A qui crée un processus B. On dira que A est le père de B et que B est le fils de A. B peut, à son tour créé un processus C (B sera le père de C et C le fils de B). On peut modéliser ces relations père/fils par une structure arborescente (voir le schéma ci-contre).
Si un processus est créé à partir d'un autre processus, comment est créé le tout premier processus ?
Sous un système d'exploitation comme Linux, au moment du démarrage de l'ordinateur un tout premier processus (appelé processus 0 ou encore Swapper) est créé à partir de "rien" (il n'est le fils d'aucun processus). Ensuite, ce processus 0 crée un processus souvent appelé "init" ("init" est donc le fils du processus 0).

À partir de "init", les processus nécessaires au bon fonctionnement du système d'exploitation Linux sont créés (par exemple les processus "crond", "inetd", "getty",...). Puis d'autres processus sont créés à partir des fils de "init"...

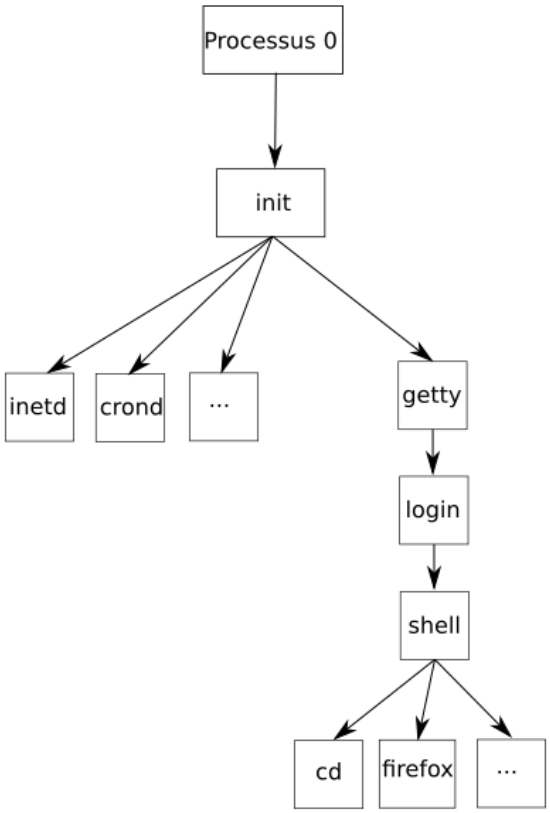


Schéma de la création des processus de base sous Linux lors du lancement du système

1.3. Identification des processus

Chaque processus possède un **identifiant** appelé **PID** (**P**rocess **Id**entification), ce PID est un nombre entier. Le premier processus créé au démarrage du système à pour PID 0, le second 1, le troisième 2... Le système d'exploitation utilise un compteur qui est incrémenté de 1 à chaque création de processus, le système utilise ce compteur pour attribuer les PID aux processus.

Chaque processus possède aussi un **PPID** (**P**arent **P**rocess **Id**entification). Ce PPID permet de connaitre le processus parent d'un processus (par exemple le processus "init" vu ci-dessus à un PID de 1 et un PPID de 0). À noter que le processus 0 ne possède pas de PPID (c'est le seul dans cette situation).

2. Ordonnancement des processus

Dans un système multi-utilisateurs à temps partagé, plusieurs processus peuvent être présents en mémoire centrale en attente d'exécution. Si plusieurs processus sont prêts, le système d'exploitation doit gérer l'allocation du processeur aux différents processus à exécuter. C'est l'ordonnanceur qui s'acquitte de cette tâche.

2.1. Notion d'ordonnancement

Le système d'exploitation d'un ordinateur peut être vu comme un ensemble de processus dont l'exécution est gérée par un processus particulier : l'**ordonnanceur** (*scheduler*, en anglais).

Un ordonnanceur fait face à deux problèmes principaux :

- le choix du processus à exécuter ;
- le temps d'allocation du processeur au processus choisi.

Un système d'exploitation multitâche est préemptif lorsque celui-ci peut arrêter (réquisition) à tout moment n'importe quelle application pour passer la main à la suivante. Dans les systèmes d'exploitation préemptifs on peut lancer plusieurs applications à la fois et passer de l'une à l'autre, voire lancer une application pendant qu'une autre effectue un travail. Il y a aussi des systèmes d'exploitation dits multitâches, qui sont en fait des « multi-tâches coopératifs ».

Quelle est la différence ? Un multitâche coopératif permet à plusieurs applications de fonctionner et d'occuper des plages mémoire, laissant le soin à ces applications de gérer cette occupation, au risque de bloquer tout le système. Par contre, avec un « multi-tâche préemptif », le noyau garde toujours le contrôle (qui fait quoi, quand et comment), et se réserve le droit de fermer les applications qui monopolisent les ressources du système. Ainsi les blocages du système sont inexistants.

2.2. Objectifs de l'ordonnanceur d'un système multi-utilisateurs

Les objectifs d'un ordonnanceur d'un système multi-utilisateurs sont, entre autres :

- s'assurer que chaque processus en attente d'exécution reçoive sa part de temps processeur ;
- minimiser le temps de réponse ;
- utiliser le processeur à 100% ;
- utiliser d'une manière équilibrée les ressources ;
- prendre en compte les priorités ;
- être prédictible.

Ces objectifs sont parfois complémentaires, parfois contradictoires : augmenter la performance par rapport à l'un d'entre eux peut se faire au détriment d'un autre. Il est impossible de créer un algorithme qui optimise tous les critères de façon simultanée.

2.3. Ordonnanceurs non préemptifs : First-Come First-Served (FCFS) et Short Job First (SJF)

Dans un système à ordonnancement non préemptif ou sans réquisition, le système d'exploitation choisit le prochain processus à exécuter, en général, le **Premier Arrivé est le Premier Servi PAPS** (ou **First-Come First-Served : FCFS**) ou le **plus court d'abord** (**Short Job First : SJF**). Il lui alloue le processeur jusqu'à ce qu'il se termine ou qu'il se bloque (en attente d'un événement). Il n'y a pas de réquisition. Si l'ordonnanceur fonctionne selon la stratégie SJF, il choisit, parmi le lot de processus à exécuter, le plus court (plus petit temps d'exécution). Cette stratégie est bien adaptée au traitement par lots de processus dont les temps maximaux d'exécution sont connus ou fixés par les utilisateurs car elle offre un meilleur temps moyen de séjour. Le temps de séjour d'un processus (temps de rotation ou de virement) est l'intervalle de temps entre la soumission du processus et son achèvement.

Considérons par exemple un lot de quatre processus notés A, B, C, D dont les temps respectifs d'exécution sont , t_A , t_B, t_C et t_D. Alors :

- le premier processus se termine au bout du temps t_A ;
- le deuxième processus se termine au bout du temps $t_A + t_B$;
- le troisième processus se termine au bout du temps $t_A + t_B + t_C$;
- le quatrième processus se termine au bout du temps $t_A + t_B + t_C + t_D$.

Le temps moyen de séjour noté <t> est : $<t>=\frac{4t_A+3t_B+2t_C+t_D}{4}$

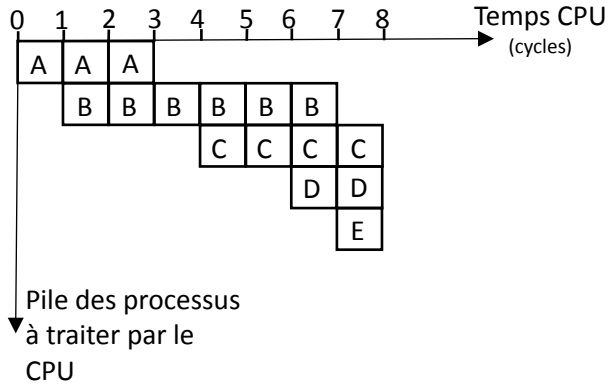
On obtient le meilleur temps de séjour pour $t_A \leq t_B \leq t_C \leq t_D$.
Toutefois, l'ordonnancement du plus court d'abord n'est optimal que si les travaux sont disponibles simultanément.

Exemple :

Processus	Temps d'exécution	Temps d'arrivage
A	3	0
B	6	1
C	4	4
D	2	6
E	1	7

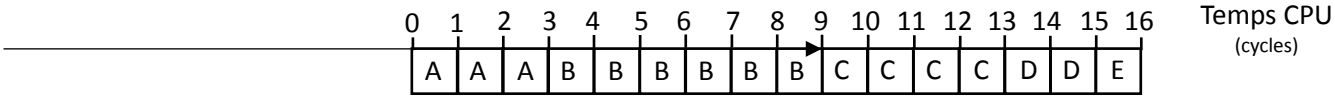
Considérons cinq processus notés A, B, C, D et E, dont les temps d'exécution et leurs arrivages respectifs sont donnés dans le tableau ci-contre.

On peut également représenter le tableau précédent de la manière suivante afin de faciliter la compréhension de l'ordonnancement des processus :



Algorithme "Premier arrivé premier servi" : First-Come First-Served (FCFS)

Schéma d'exécution :



Au temps 0, seulement le processus A est dans le système et il s'exécute. Au temps 1 le processus B arrive mais il doit attendre que A se termine car il lui reste encore 2 unités de temps à effectuer. Ensuite B s'exécute pendant 4 unités de temps. Au temps 4, 6, et 7 les processus C, D et E arrivent mais B a encore 2 unités de temps. Une fois que B a terminé, C, D et E entrent dans le système dans l'ordre (on suppose qu'il y a aucun blocage).

Le **temps de séjour** pour chaque processus est obtenu soustrayant le temps d'entrée du processus du temps de terminaison. Ainsi :

Processus	Temps de sejour
A	3-0 = 3
B	9-1 = 8
C	13-4 = 9
D	15-6 = 9
E	16-7 = 9

Le **temps moyen de séjour** est : (3 + 8 + 9 + 9 + 9) / 5 = 38 / 5 = 7,6.

Le **temps d'attente** est calculé soustrayant le temps d'exécution du temps de séjour :

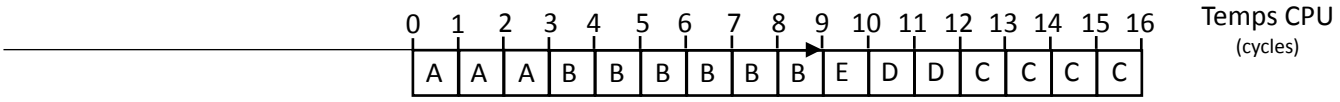
Processus	Temps d'attente
A	3-3 = 0
B	8-6 = 2
C	9-4 = 5
D	9-2 = 7
E	9-1 = 8

Le **temps moyen d'attente** est : (0 + 2 + 5 + 7 + 8) / 5 = 23 /5 = 4,4

Il y a cinq tâches exécutées dans 16 unités de temps, alors 16 / 5 = 3,2 unités de temps par processus.

Algorithme "Le plus court d'abord" : Short Job First (SJF)

Schéma d'exécution :



Le processeur traite d'abord comme précédemment les processus A puis B. Le processus B s'achève à la date t = 9 qui est supérieure au temps d'arrivage des processus C, D et E : ceux-ci sont donc déjà présents dans la pile des processus en attente de traitement par le processeur. Celui-ci choisi d'abord d'exécuter le processus le plus court des 3 c'est-à-dire E conformément à l'algorithme SJF. Puis selon la même logique, il exécute le processus D et enfin le processus C.

Temps de séjour :

Processus	Temps de séjour
A	3-0 = 3
B	9-1 = 8
E	10-7 = 3
D	12-6 = 6
C	16-4 = 12

Temps moyen de séjour : (3 + 8 + 3 + 6 + 12) / 5 = 32 / 5 = 6,4

Temps d'attente :

Processus	Temps d'attente
A	3-3 = 0
B	8-6 = 2
E	3-1 = 2
D	6-2 = 4
C	12-4 = 8

Temps moyen d'attente : (0 + 2 + 2 + 4 + 8) / 5 = 16 / 5 = 3,2

Il y a cinq tâches exécutées dans 16 unités de temps, alors 16 / 5 = 3,2 unités de temps par processus.

On observe que dans ce cas de figure l'algorithme **Short Job First (SJF)** est plus performant que l'algorithme **First-Come First-Served (FCFS)**.

Remarque :
Les ordonnanceurs non préemptifs ne sont généralement pas intéressants pour les systèmes multi-utilisateurs car les temps de réponse ne sont pas toujours acceptables.

2.4. Ordonnanceurs préemptifs : Shortest Remaining Time (SRT) et Round Robin (RR)

Dans un schéma d'ordonnanceur préemptif, ou avec réquisition, pour s'assurer qu'aucun processus ne s'exécute pendant trop de temps, les ordinateurs ont une horloge électronique qui génère périodiquement une interruption. A chaque interruption d'horloge, le système d'exploitation reprend la main et décide si le processus courant doit poursuivre son exécution ou s'il doit être suspendu pour laisser place à un autre. S'il décide de suspendre son exécution au profit d'un autre, il doit d'abord sauvegarder l'état des registres du processeur avant de charger dans les registres les données du processus à lancer. C'est qu'on appelle la commutation de contexte ou le changement de contexte. Cette sauvegarde est nécessaire pour pouvoir poursuivre ultérieurement l'exécution du processus suspendu. Le processeur passe donc d'un processus à un autre en exécutant chaque processus pendant quelques dizaines ou centaines de millisecondes. Le temps d'allocation du processeur au processus est appelé quantum. Cette commutation entre processus doit être rapide, c'est-à-dire, exiger un temps nettement inférieur au quantum. Le processeur, à un instant donné, n'exécute réellement qu'un seul processus, mais pendant une seconde, le processeur peut exécuter plusieurs processus et donne ainsi l'impression de parallélisme (pseudo-parallélisme).

Problèmes soulevés :

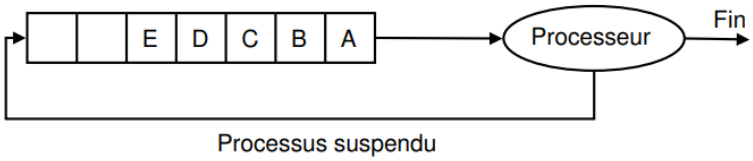
– Choix de la valeur du quantum.
– Choix du prochain processus à exécuter dans chacune des situations suivantes :
1. Le processus en cours se bloque (passe à l'état Attente).
2. Le processus en cours passe à l'état Prêt (fin du quantum...).
3. Un processus passe de l'état Attente à l'état Prêt (fin d'une E/S).
4. Le processus en cours se termine.

Algorithme du plus petit temps de séjour : Shortest Remaining Time (SRT)

L'ordonnancement du plus petit temps de séjour ou **Shortest Remaining Time (SRT)** est la version préemptive de l'algorithme **SJF**. Un processus arrive dans la file de processus, l'ordonnanceur compare la valeur espérée pour ce processus contre la valeur du processus actuellement en exécution. Si le temps du nouveau processus est plus petit, il rentre en exécution immédiatement.

Algorithme du tourniquet circulaire : Round Robin (RR)

L'algorithme du tourniquet, circulaire ou **Round Robin (RR)** représenté sur la figure ci-dessous est un algorithme ancien, simple, fiable et très utilisé. Il mémorise dans une file du type **FIFO (First In First Out)** la liste des processus prêts, c'est-à-dire en attente d'exécution.



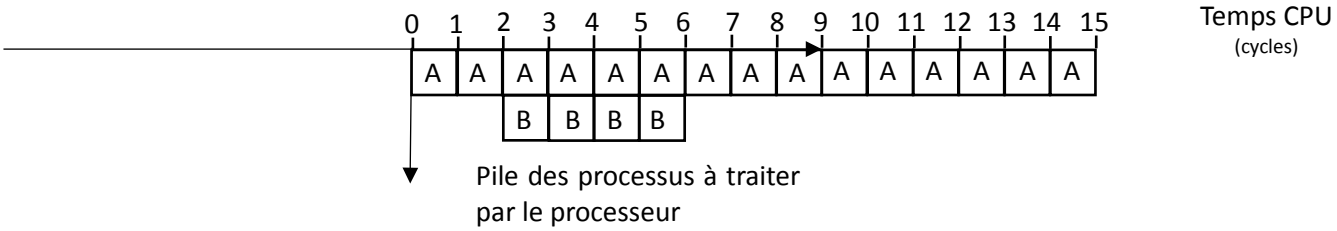
Ordonnancement circulaire

- **Choix du processus à exécuter**
  Il alloue le processeur au processus en tête de file, pendant un quantum de temps. Si le processus se bloque ou se termine avant la fin de son quantum, le processeur est immédiatement alloué à un autre processus (celui en tête de file). Si le processus ne se termine pas au bout de son quantum, son exécution est suspendue. Le processeur est alloué à un autre processus (celui en tête de file). Le processus suspendu est inséré en queue de file. Les processus qui arrivent ou qui passent de l'état bloqué à l'état prêt sont insérés en queue de file.
- **Choix de la valeur du quantum**
  Un quantum trop petit provoque trop de commutations de processus et abaisse l'efficacité du processeur. Un quantum trop élevé augmente le temps de réponse des courtes commandes en mode interactif. Un quantum entre 20 et 50 ms est souvent un compromis raisonnable.

Remarque : le quantum était de 1 s dans les premières versions d'UNIX.

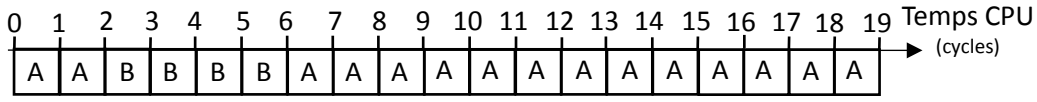
Exemple :

Soient deux processus A et B prêts tels que A est arrivé en premier suivi de B, 2 unités de temps après. Les temps CPU nécessaires pour l'exécution des processus A et B sont respectivement 15 et 4 unités de temps. Le temps de commutation est supposé nul.



>>> Algorithme du plus petit temps de séjour : Shortest Remaining Time (SRT)

- **Schéma d'exécution :**



- **Temps de séjour :**

Processus	Temps de séjour
A	19-0 = 19
B	6-2 = 4

- **Temps moyen de séjour :** (19 + 4) / 2 = 11,5

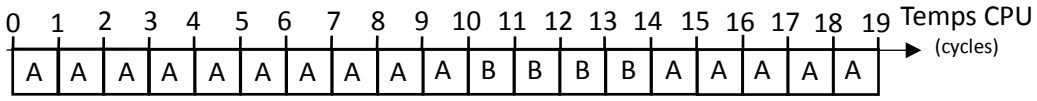
- **Temps d'attente :**

Processus	Temps d'attente
A	19-15 = 4
B	4-4 = 0

- **Temps moyen d'attente :** (4 + 0) / 2 = 2

>>> Algorithme du tourniquet circulaire : Round Robin (quantum = 10 unités de temps)

- **Schéma d'exécution :**



- **Temps de séjour :**

Processus	Temps de séjour
A	19-0 = 19
B	14-2 = 12

- **Temps moyen de séjour :** (19 + 12) / 2 = 15,5

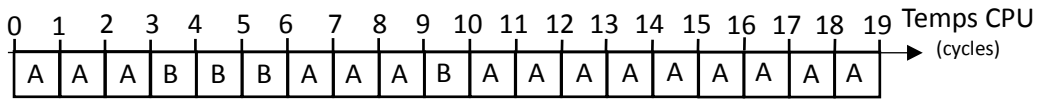
- **Temps d'attente :**

Processus	Temps d'attente
A	19-15 = 4
B	12-4 = 8

- **Temps moyen d'attente :** (4 + 8) / 2 = 6

>>> Algorithme du tourniquet circulaire : Round Robin (quantum = 3 unités de temps)

- **Schéma d'exécution :**



- **Temps de séjour :**

Processus	Temps de séjour
A	19-0 = 19
B	10-2 = 8

- **Temps moyen de séjour :** (19 + 8) / 2 = 13,5

- **Temps d'attente :**

Processus	Temps d'attente
A	19-15 = 4
B	8-4 = 4

- **Temps moyen d'attente :** (4 + 4) / 2 = 4

Dans les trois solutions (SRT, RR Q_t =10 et RR Q_t =3), il y a 2 tâches exécutées dans 19 unités de temps, alors 19 / 2 = 9,5 unités de temps par processus. L'algorithme SRT donne dans le contexte étudié le meilleur résultat.

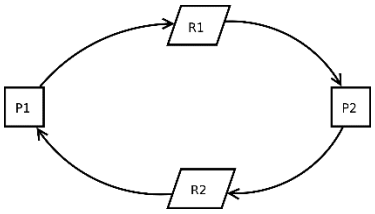
3. Interblocage (deadlock)

3.1. Définition

Un **interblocage** (ou **étreinte fatale**, ***deadlock*** en anglais) est un phénomène qui peut survenir en programmation concurrente. L'interblocage se produit lorsque des processus concurrents s'attendent mutuellement. Un processus peut aussi s'attendre lui-même. Les processus bloqués dans cet état le sont définitivement, il s'agit donc d'une situation catastrophique provoquant le blocage du système.

3.2. Exemple

Soit 2 processus P1 et P2, soit 2 ressources R1 et R2. Initialement, les 2 ressources sont "libres" (i.e. utilisées par aucun processus). Le processus P1 commence son exécution (état élu), il demande la ressource R1. Il obtient satisfaction puisque R1 est libre, P1 est donc dans l'état "prêt". Pendant ce temps, le système a passé P2 à l'état élu : P2 commence son exécution et demande la ressource R2. Il obtient immédiatement R2 puisque cette ressource était libre. P2 repasse immédiatement à l'état élu et poursuit son exécution (P1 lui est toujours dans l'état prêt). P2 demande la ressource R1, il se retrouve dans un état bloqué puisque la ressource R1 a été attribuée à P1 : P1 est dans l'état prêt, il n'a pas eu l'occasion de libérer la ressource R1 puisqu'il n'a pas eu l'occasion d'utiliser R1 (pour utiliser R1, P1 doit être dans l'état élu).



Exemple d'interblocage :
Le processus P1 utilise la ressource R2 qui est attendue par le processus P2 qui utilise la ressource R1, attendue par P1...

P2 étant bloqué (en attente de R1), le système passe P1 dans l'état élu et avant de libérer R1, il demande à utiliser R2.
Problème : R2 n'a pas encore été libéré par P2, R2 n'est donc pas disponible, P1 se retrouve bloqué.
Résumons la situation à cet instant : P1 possède la ressource R1 et se trouve dans l'état bloqué (attente de R2), P2 possède la ressource R2 et se trouve dans l'état bloqué (attente de R1)

Pour que P1 puisse poursuivre son exécution, il faut que P2 libère la ressource R2, mais P2 ne peut pas poursuivre son exécution (et donc libérer R2) puisqu'il est bloqué dans l'attente de R1. Pour que P2 puisse poursuivre son exécution, il faut que P1 libère la ressource R1, mais P1 ne peut pas poursuivre son exécution (et donc libérer R1) puisqu'il est bloqué dans l'attente de R2. Bref, la situation est totalement bloquée !

Cette situation est qualifiée d'interblocage (deadlock en anglais).

Il existe plusieurs solutions permettant soit de mettre fin à un interblocage (cela passe par l'arrêt d'un des 2 processus fautifs) ou d'éviter les interblocage, mais ces solutions ne seront pas étudiées ici.

QUESTIONS

Q1. Qu'est-ce qu'un processus informatique ?
Q2. Quels sont les états dans lequel un processus peut se trouver ?
Q3. Quel dispositif attribue à un processus un état ?
Q4. Dans quel état se trouve un processus en cours d'exécution par le microprocesseur ?
Q5. Par quoi est identifié un processus ?
Q6. Qu'est-ce que l'ordonnancement des processus ?
Q7. Quelles sont les 2 grandes famille d'ordonnanceurs ?
Q8. Considérons cinq processus notés A, B, C, D et E dans une file d'attente. Les durées d'exécution et leurs dates d'arrivage respectifs sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Processus	Durée d'exécution (en unité de cycle CPU)	Date d'arrivage (en unité de cycle CPU)
A	10	0
B	1	1
C	2	2
D	1	3
E	5	4

Donner le schéma d'exécution des algorithmes d'ordonnancement suivants :

- First-Come First-Served (FCFS)
- Short Job First (SJF)
- Shortest Remaining Time (SRT)
- Round Robin (RR) avec un quantum de 2

Quelle politique d'ordonnancement donne le meilleur résultat c'est-à-dire celui correspondant à la durée minimale d'attente moyenne par processus ?

Q9. Trois processus A, B et C ont été chargés dans un système informatique comme indiqué ci-dessous :

Processus	Durée d'exécution (en unité de cycle CPU)	Date d'arrivage (en unité de cycle CPU)
A	4	0
B	2	0
C	1	3

Donner le schéma d'exécution des algorithmes d'ordonnancement suivants :

- First-Come First-Served (FCFS)
- Short Job First (SJF)
- Shortest Remaining Time (SRT)
- Round Robin (RR) avec un quantum de 1

Quelle politique d'ordonnancement donne le meilleur résultat c'est-à-dire celui correspondant à la durée minimale d'attente moyenne par processus ?

Q10. Lancez le terminal sous Linux.
a) Tapez la commande suivante : **ps -aef**
Que permet de faire cette commande ?
b) Tapez la commande suivante : **top** (Ctrl + C pour arrêter ce processus)
Que permet de faire cette commande ?

Remarque : on peut tuer un processus avec la commande : **kill numero_PID**