Systèmes d'Exploitation

Interbloquages

Didier Verna

didier@lrde.epita.fr
http://www.lrde.epita.fr/~didier

Problématique

Extrait de la législature du Kansas (1900)

« Quand deux trains approcheront du croisement, les deux devront s'arrêter complètement, et aucun d'eux ne redémarrera jusqu'à ce que l'autre soit reparti. »

Table des matières

Modélisation des Ressources

- **Hypothèses**
  - Plusieurs types de ressource (CPU, mémoire, disque, imprimantes *etc.*)
  - Une ou plusieurs instances de chaque ressource
  - Allocation indifférente de n'importe quelle instance d'un type donné
  - Utilisation mutuellement exclusive d'une instance de ressource
- **Classes de ressources**
  - **Ressources réquisitionnables :** récupération de la ressource pendant son utilisation, sans effet indésirable (ex. mémoire)
  - **Ressources non réquisitionnables :** graveurs, imprimantes *etc.*
  - Les interbloquages concernent surtout les ressources non réquisitionnables

Séquence d'utilisation

Allocation ⇒ utilisation ⇒ libération

- **En cas d'échec de l'allocation**
  - Processus bloqué (puis réveillé) automatiquement, ou code d'erreur en retour
  - Dans tous les cas, on peut considérer le processus comme « bloqué »
- **Exemple d'interbloquage**

Processus 1 :

```
wait (sem1);
wait (sem2);
```

Processus 2 :

```
wait (sem2);
wait (sem1);
```

Conditions d'interbloquage

Nécessaires mais non suffisantes

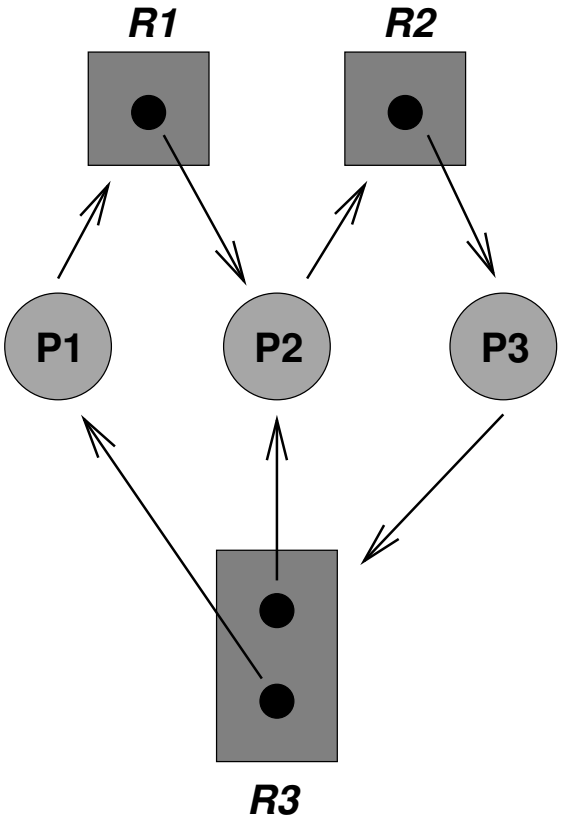
1. **Exclusion mutuelle** : chaque ressource est soit libre, soit occupée par un unique processus
2. **Occupation et attente** : chaque processus occupant une ressource peut en attendre une autre
3. **Pas de réquisition** : seul le processus occupant une ressource peut la libérer
4. **Attente circulaire** : boucle d'attente de ressources occupées par les processus

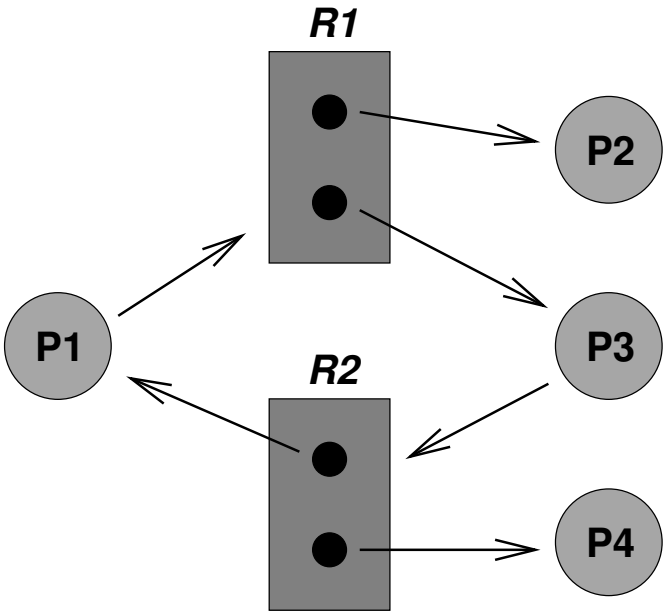
Remarque : attente circulaire $\Longrightarrow$ occupation et attente

Graphe d'allocation de ressources

- **Graphe orienté**
- **Deux types de noeuds**
  - processus P_i
  - ressources R_j
- **Deux types d'arcs**
  - Arcs de requête $P_i \rightarrow R_j$
  - Arcs d'affectation $R_j \rightarrow P_i$
- Pour qu'il y ait interbloquage, le graphe d'allocation de ressources doit nécessairement contenir un cycle. Cette condition devient suffisante s'il n'existe qu'une seule instance de chaque ressource.

Exemple
. . . et contre-exemple





Traitement des interbloquages

- **Empêcher les interbloquages**
  - **Prévention** : s'assurer que l'une des conditions nécessaires n'est jamais remplie
  - **Évitement** : disposer à l'avance d'informations sur l'utilisation des ressources par un processus, et décider dynamiquement de l'allocation
- **Corriger les interbloquages** : requiert un algorithme de détection et un algorithme de correction
- **Ignorer les interbloquages** : prétendre que ceux-ci n'arrivent jamais (UNIX, Windows)

Prévention des interbloquages

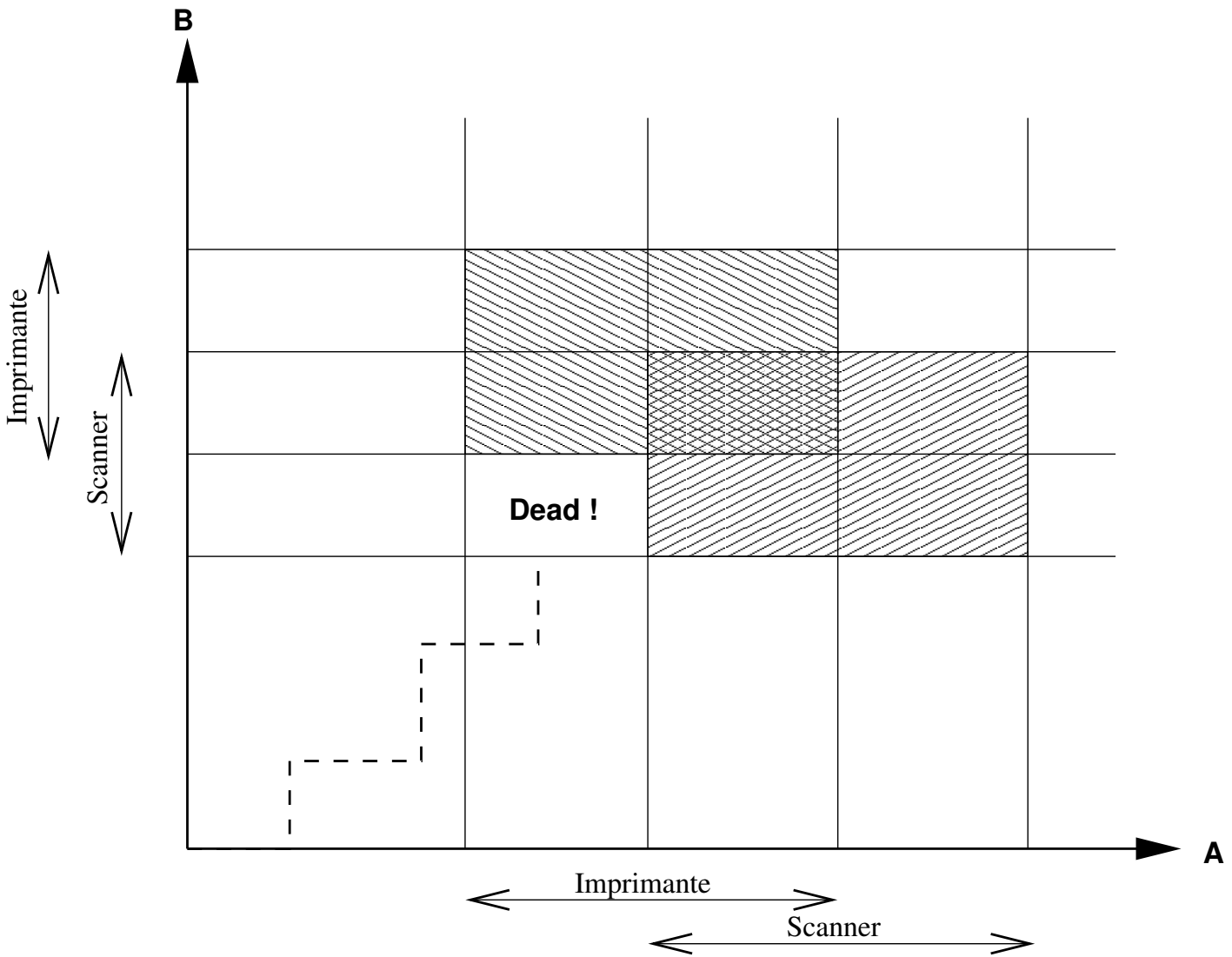
- **Exclusion mutuelle** : spooling.
  Intrinsèquement impossible pour certaines ressources.
- **Occupation et attente** : forcer les processus à demander toutes leurs ressources avant l'exécution, ou bien une seule à la fois. Inefficace et risque de famine.
- **Pas de réquisition** : si un processus requiert une ressource occupée, toutes ses ressources sont implicitement libérées et le processus passe en attente. Pas utilisable pour certains types de ressources (imprimantes *etc.*).
- **Attente circulaire** : une seule ressource à la fois, ou imposer un ordre total sur l'allocation des ressources.

Évitement des interbloquages

S'assurer que le système reste dans un « état sain »

- Est-il possible de *prévoir* les interbloquages ?
  $\Longrightarrow$ Oui.
- De quelle information a t'on besoin ?
  $\Longrightarrow$ Du nombre maximum de requêtes sur une ressource pour chaque processus.

Trajectoires de ressources



États sains / malsains

Un état est « sain » si on peut trouver un ordonnancement garantissant la complétion des processus.

Proc / Used / Max :

A	3	9
B	2	4
C	2	7
∅	3	

A	3	9
B	4	4
C	2	7
∅	1	

A	3	9
B	0	-
C	2	7
∅	5	

A	3	9
B	0	-
C	7	7
∅	0	

A	3	9
B	0	-
C	0	-
∅	7	

A	3	9
B	2	4
C	2	7
∅	3	

A	4	9
B	2	4
C	2	7
∅	2	

A	4	9
B	4	4
C	2	7
∅	0	

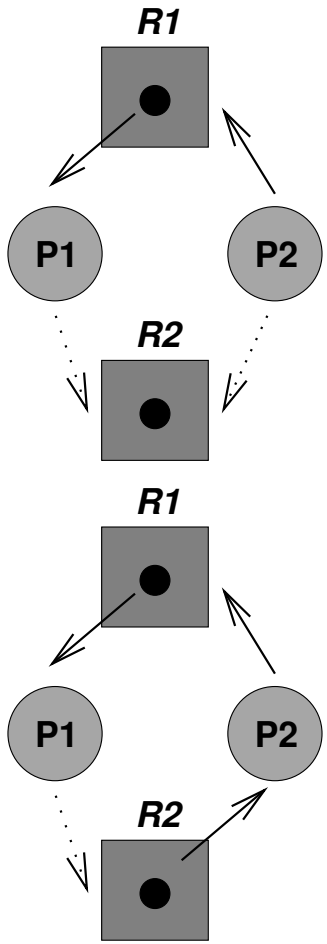
A	4	9
B	0	-
C	2	7
∅	4	

Remarque : un état malsain ne conduit pas *forcément* à un interbloquage (on ne sait pas conclure).

Algorithme du graphe d'allocation

Ssi chaque ressource n'existe qu'en une seule instance

- **arc de réclamation**
  $(P_i \rightarrow R_j)$: indique que P_i demandera R_j dans le futur.
- Réclamation des ressources *a priori*.
- Une libération de ressource transforme un arc d'affectation en arc de réclamation.
- La transformation d'un arc de réclamation en arc d'affectation ne doit pas introduire de cycle (« état malsain »).



Algorithme du banquier

Dijkstra, 1965

- **Description**
  - Utilisable dans le cas général
  - Réclamation de ressources *a priori*
  - Complexité en $O(RP^2)$
  - Composition en deux algorithmes : requête de ressource et détermination d'état sain
- **Structures de données nécessaires**
  - free [R] : vecteur de disponibilité des ressources
  - used [P, R] : matrice d'occupation des ressources
  - request [P, R] : matrice de requête de ressources

Algorithme de requête de ressources

(1) **si** request [P_i] <= need [P_i]**:**
(2) aller en 5.
(3) **sinon:**
(4) erreur (demande supérieure à la réclamation initiale).
(5) **si** request [P_i] <= free**:**
(6) aller en 9.
(7) **sinon:**
(8) bloquer P_i.
(9) Faire tourner l'algorithme de détermination d'état avec :
(10) free $\leftarrow$ free - request [P_i]
(11) used [P_i] $\leftarrow$ used [P_i] + request [P_i].
(12) Si l'état calculé est sain, faire la mise à jour.

Algorithme de détermination d'état

(1) Chercher P_i non marqué tel que request [P_i] <= free.
(2) Si P_i n'existe pas, aller en 6.
(3) free $\leftarrow$ free + used [P_i].
(4) Marquer P_i.
(5) Aller en 1.
(6) S'il reste un processus non marqué, alors le système est en état malsain.

Détection des interbloquages

- Ni prévention, ni évitement
- Des interblocages peuvent donc se produire
- Besoin d'un algorithme de détection
- Besoin d'un algorithme de correction

$\Longrightarrow$ Surcharge du système : maintenance de l'information nécessaire, exécution des algorithmes *etc.*

Algorithme du graphe d'attente

Ssi chaque ressource n'existe qu'en une seule instance

- Obtenu à partir du graphe d'allocation de ressources
- Suppression des noeuds de type ressource
- Rabattement des arcs : $P_i \rightarrow P_j$ indique que P_i attend une ressource occupée par P_j

$\Longrightarrow$ Un interbloquage se produit s'il existe un cycle dans le graphe d'attente. Un algorithme de détermination de cycle est en $O(P^2)$.

Algorithme général

Structures de données nécessaires

- free [R] : vecteur de disponibilité des ressources
- used [P, R] : matrice d'occupation des ressources
- request [P, R] : matrice de requête de ressources

(1) Chercher P_i non marqué tel que request [P_i] <= free.
(2) **si** P_i n'existe pas**:**
(3) aller en 7.
(4) free $\leftarrow$ free + used [P_i].
(5) Marquer P_i.
(6) Aller en 1.
(7) **si** il reste un processus non marqué**:**
(8) il est en situation d'interbloquage.

Déclenchement

Deux paramètres à prendre en compte

- Fréquence probable des interbloquages
- Nombre de processus impliqués

Déclenchement possible

- À chaque refus d'allocation d'une ressource (extrêmement coûteux)
- À intervalles réguliers
- Quand l'utilisation du processeur tombe en dessous d'une certaine limite
- *etc.*

Correction des interbloquages

Trois alternatives possibles

- **Intervention manuelle :** le système ne fait qu'informer l'opérateur de l'interbloquage
- **Réquisition de ressources :** saisie et redistribution arbitraire des ressources vers d'autres processus (risque de famine)
- **Terminaison de processus :** pas toujours facile (ex. processus en cours de modification de fichier, en cours d'impression *etc.*)

Réquisition de ressources

Trois problèmes à résoudre

- **Sélection d'une victime :** quelles ressources et quels processus doivent être réquisitionnés ?
- **Retour en arrière :** retour à un état sain (« checkpoints », coûteux pour le système) ou redémarrage complet (coûteux pour l'utilisateur)
- **Famine :** technique de vieillissement (ex. inclure le nombre de retours en arrière dans le coût)

Terminaison de processus

- **Choix possibles**
  - **Terminaison totale :** coût élevé pour l'utilisateur (les processus avortés devront être relancés)
  - **Terminaison partielle :** un par un jusqu'à ce que le cycle d'interbloquage soit rompu. Coût élevé pour le système (appels multiples à l'algorithme de détection)
  - **Terminaison externe :** tuer un processus non interbloqué (par ce qu'il occupe des ressources intéressantes)
- **Critères de choix pour la terminaison**
  - priorité du processus
  - âge du processus, temps restant d'exécution
  - nombre et type de ressources utilisées
  - *etc.*