Processus (suite)

Problèmes élémentaires de synchronisation

Noel De Palma

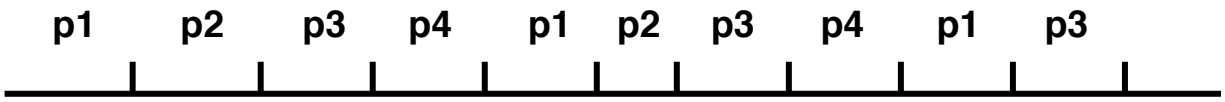
Université Grenoble Alpes

Janvier 2016

Ce cours est basé sur les transparents de Sacha Krakowiak et Renaud Lachaize

Raisonner sur les processus parallèles

Dans un système d'exploitation, le processeur est multiplexé entre les processus prêts (quantum d'exécution)



Les instants de commutation sont indépendants de la logique interne du déroulement de chaque processus. S'il y avait suffisamment de processeurs, il n'y aurait pas de partage (pas de commutation)

Pour le raisonnement logique sur les processus, il ne faut faire aucune hypothèse sur l'ordre relatif des exécutions (ou, ce qui revient au même, sur les vitesses relatives). Seuls comptent

- l'ordre d'exécution interne à chaque processus
- les relations logiques entre les processus (synchronisation)

Rappel : la synchronisation est réalisée en faisant attendre un processus (attente active, ou, mieux, blocage)

Le problème de l'exclusion mutuelle

- **Opérations sur un compte bancaire**
  - **les processus p1 et p2 sont lancés depuis deux agences différentes**

processus p1

```
1. courant = lire_compte (1867A)
2. nouveau = courant + 1000
3. ecrire_compte (1867A, nouveau)
```

processus p2

```
1. courant = lire_compte (1867A)
2. nouveau = courant + 3000
3. ecrire_compte (1867A, nouveau)
```

- **À noter...**

  les variables `courant` et `nouveau` sont locales à chaque processus (elles sont dans sa mémoire virtuelle) : il y en a donc deux exemplaires distincts et indépendants

  les deux processus se déroulent en parallèle. L'exécution des opérations peut être entrelacée dans un ordre quelconque, à condition de respecter l'ordre local pour chacun des processus

- **Exemples d'exécution**

  exécution 1 : p2.1 ; p2.2 ; p2.3 ; p1.1 ; p1.2 ; p1.3

  exécution 2 : p1.1 ; p1.2 ; p2.1 ; p2.2 ; p2.3 ; p1.3

  quels sont les résultats ? que peut-on en conclure ?

Sections critiques et actions atomiques

Comment éviter les problèmes d'accès concurrent aux variables partagées ?

Assurer que l'ensemble des opérations (consultation + mise à jour) est exécutée de manière **indivisible** (atomique)

Pas d'interférences possibles de la part d'autres opérations exécutées en parallèle

processus p1

A1

```
1. courant = lire_compte (1867A)
2. nouveau = courant + 1000
3. ecrire_compte (1867A, nouveau)
```

processus p2

A2

```
1. courant = lire_compte (1867A)
2. nouveau = courant + 3000
3. ecrire_compte (1867A, nouveau)
```

Si A1 et A2 sont atomiques, le résultat de l'exécution parallèle de A1 et A2 ne peut être que celui de A1 ; A2 ou de A2 ; A1, à l'exclusion de tout autre.

On dit aussi que la séquence d'actions 1; 2; 3 (dans p1 et dans p2) est une **section critique** : elle doit être exécutée en **exclusion mutuelle** (un seul processus au plus peut être dans sa section critique à un instant donné).

Réalisation d'une section critique (1)

Schéma général

déclaration et initialisation de variables communes

processus p1	**processus p2**
...	...
entrée en section critique	entrée en section critique
section critique	section critique
sortie de section critique	sortie de section critique
...	...

Les opérations *"entrée en section critique"*, *"sortie de section critique"* doivent garantir l'exclusion mutuelle

Réalisation d'une section critique (2)

Il existe plusieurs modes de réalisation d'une section critique

- par **attente active** :
  - Un processus qui attend l'autorisation d'entrée en section critique boucle sur le test d'entrée
  - Méthode très inefficace s'il y a un seul processeur
  - Méthode utilisée en multiprocesseur dans certains cas (pour des sections critiques très brèves)
- par **attente passive** :
  - Un processus qui attend l'autorisation d'entrée en section critique est bloqué jusqu'à ce qu'il puisse être admis en section critique (ou, au minimum, jusqu'à ce qu'il ait une chance d'être admis en section critique)
  - Méthode la plus efficace dans la plupart des cas

Un système d'exploitation fournit des primitives de base pour la gestion d'une section critique. La plupart de ces primitives sont spécifiques à une approche donnée (attente active ou attente passive). Certaines primitives sont compatibles avec les deux approches.

Réalisation d'une section critique (3)

Un système d'exploitation fournit des primitives de base pour la gestion d'une section critique.

Il existe différents types de primitives :

- Primitives de synchronisation générales :
  - Opérations sur verrous, sémaphores, variables de conditions (seront vues en M1)
- Primitives de synchronisation spécialisées :
  - Exemple : verrouillage de fichiers, vu plus loin
- Autres primitives (non-spécifiques à un rôle de synchronisation)
  - Mais dont les propriétés peuvent être exploitées pour implémenter des techniques de synchronisation *ad hoc* (exemple à venir)

Il reste à garantir que les primitives sont elles-mêmes atomiques, par des mécanismes internes au noyau du système (masquage des interruptions, *Test&Set* en multiprocesseur, etc.) – Détails vus en M1

Réalisation d'une section critique (4)

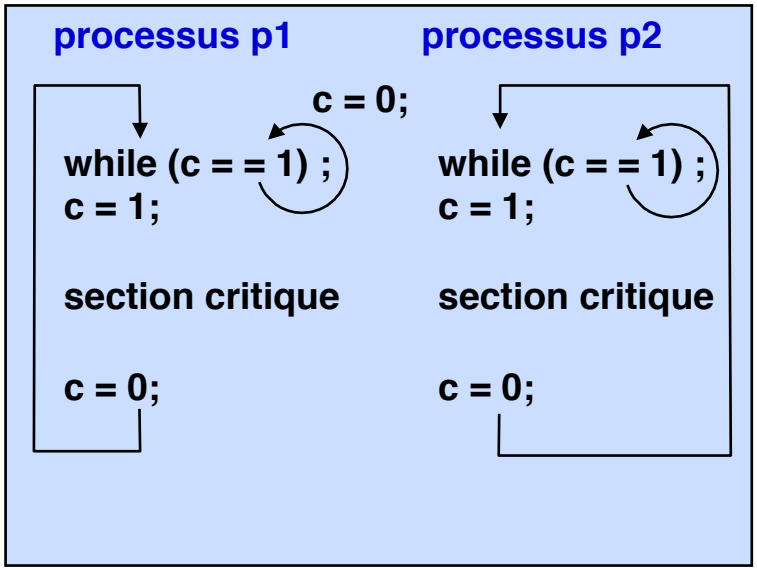
- **un exemple (simplifié) de réalisation *ad hoc*:**
  - Comment assurer qu'un seul navigateur Firefox est actif

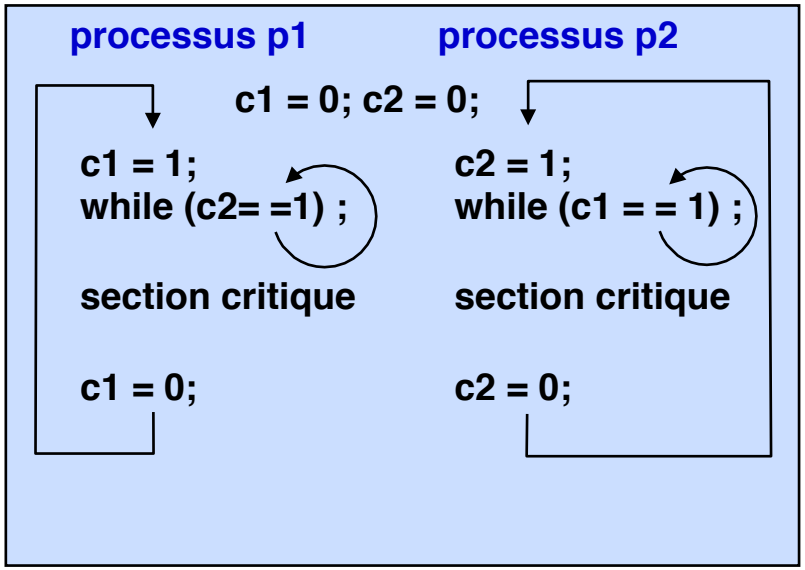
```
/* lancer une session Firefox */
if ((lock_descr = creat("~/.mozilla/firefox/lock", 0)) == -1) {
        /* afficher message d'erreur */
        ...
} else {
        /* lancer navigateur */
}
...
/* terminer session */
close (lock_descr); unlink ("~/.mozilla/firefox/lock");
```

  - cet exemple utilise la propriété suivante : la primitive `creat` (création de fichier) est atomique (atomicité assurée par le noyau du système)

Réalisation d'une section critique par attente active (1)

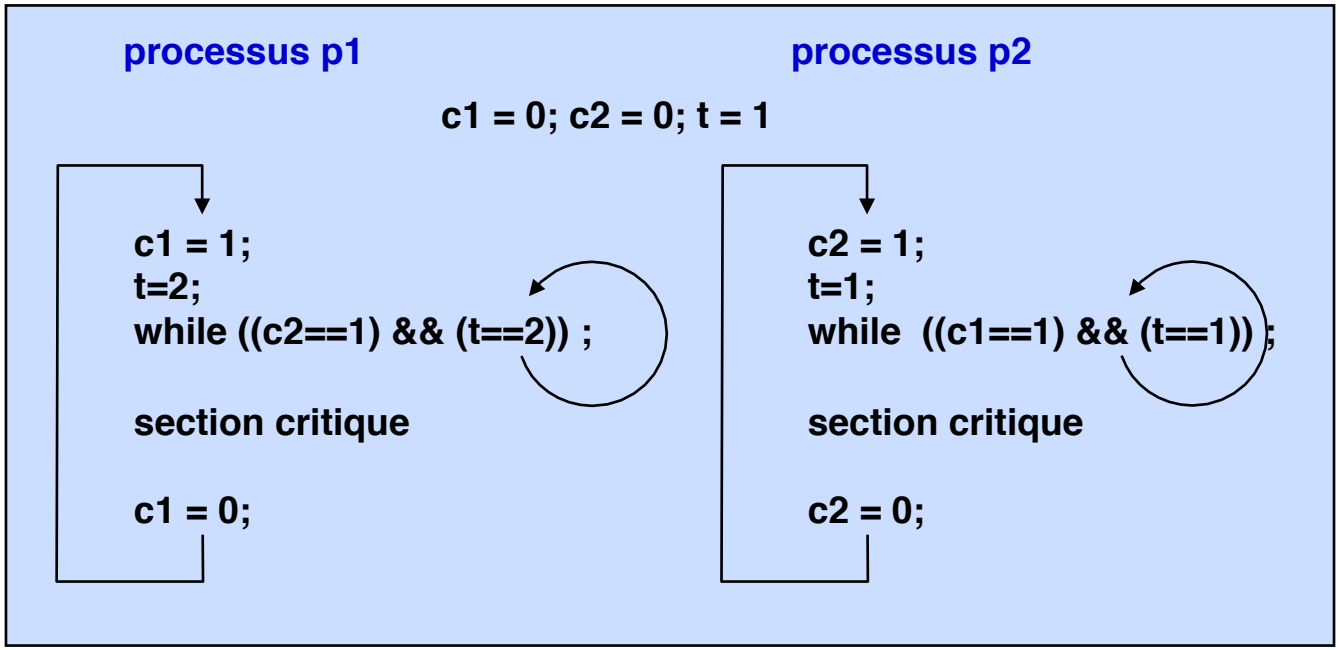
- Réaliser l'exclusion mutuelle par attente active est plus difficile qu'il n'y paraît …
- Exemples de "fausses solutions", pour 2 processus





Réalisation d'une section critique par attente active (2)

- **Une solution correcte pour l'exclusion mutuelle par attente active pour 2 processus (Peterson, 1981)**



Opérations de verrouillage

- **Les opérations de verrouillage sont une manière de réaliser l'exclusion mutuelle, pour une opération particulière (l'accès à un fichier)**
- **Deux opérations**
  - v-excl (f) : verrouille le fichier f avec accès exclusif
  - dev (f) : déverrouille le fichier f
  - Remarque : ces noms sont symboliques, voir plus loin réalisation en Unix
- **Propriétés garanties**
  - les opérations v-excl et dev sont atomiques (réalisées par appel système)
  - un fichier f verrouillé en accès exclusif par un processus ne peut pas être verrouillé par un autre processus
  - un processus qui tente de verrouiller un fichier déjà verrouillé en accès exclusif est bloqué (mis en attente du verrou)
  - l'opération de déverrouillage réveille un processus en attente du verrou

```
...
v-excl (f)
accès au fichier f (section critique)
dev (f)
...
```

```
...
v-excl (f)
accès au fichier f (section critique)
dev (f)
...
```

Verrouillage des fichiers (suite)

Rappel des opérations de verrouillage

les processus p1 et p2 partagent un fichier f, dans lequel ils écrivent
chaque séquence d'accès à f est une section critique (l'accès à f est exclusif)

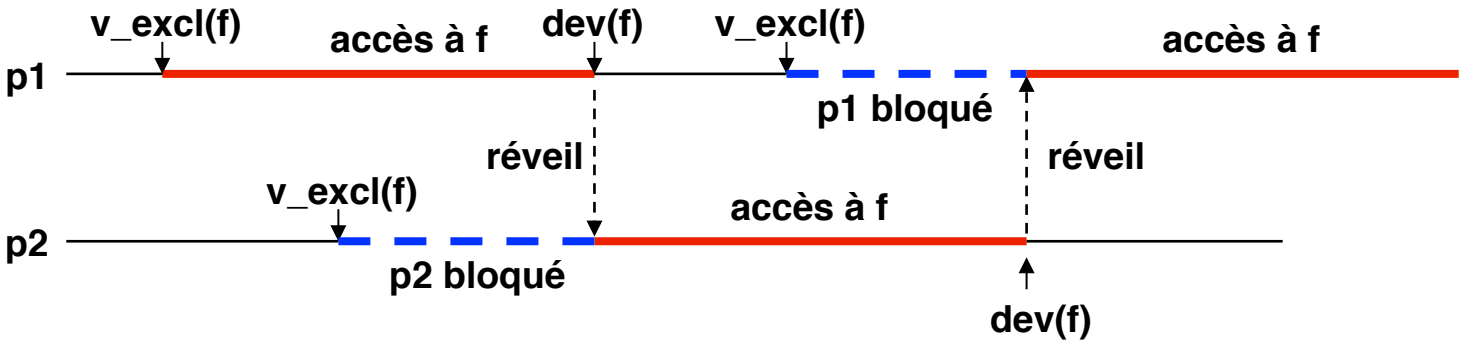
processus p1

```
...
v-excl (f)
accès au fichier f (section critique)
dev (f)
...
```

processus p2

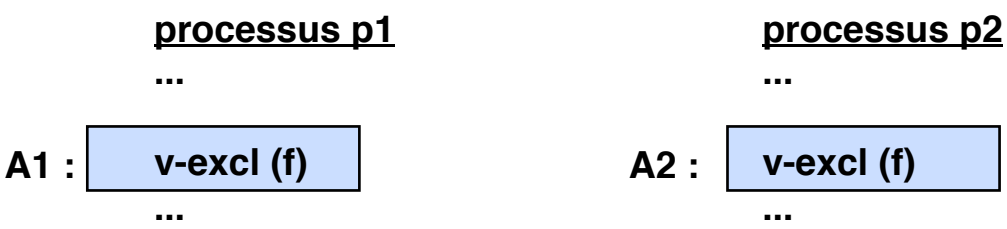
```
...
v-excl (f)
accès au fichier f (section critique)
dev (f)
...
```

Fonctionnement



Problèmes de réalisation du verrouillage

- **Les opérations v-excl et dev sont réalisées comme des opérations atomiques**
  - en particulier, si on exécute :



alors l'effet de l'exécution parallèle de A1 et A2 sera globalement : soit A1 ; A2, soit A2 ; A1, à l'exclusion de tout autre.

Cela est nécessaire au bon fonctionnement du mécanisme.

L'atomicité de v-excl et dev est assurée par le système d'exploitation (mécanisme interne aux "appels systèmes")

Verrouillage partagé

- **Le verrouillage exclusif n'est pas toujours nécessaire**
  - Supposons que p1 et p2 lisent le fichier f (sans le modifier), et que p3 écrive dans le fichier.
  - Alors on peut permettre l'accès simultané à f de p1 et p2 (mais non p1 et p3, ou p2 et p3)
- **Un nouveau mode de verrouillage : le verrouillage partagé : v-part**
  - un fichier f verrouillé en accès exclusif par un processus ne peut pas être verrouillé par un autre processus (en mode exclusif ou partagé)
  - un fichier f verrouillé en accès partagé par un processus ne peut pas être verrouillé par un autre processus en mode exclusif, mais peut être verrouillé en mode partagé
  - une opération de verrouillage bloque le processus qui l'exécute si l'une des règles ci-dessus s'applique
  - l'opération de déverrouillage réveille un processus en attente du verrou

Verrouillage de fichiers dans Unix

Opérations disponibles

- Deux types de verrous : exclusifs ou partagés
- Deux modes de verrouillage
  - mode impératif (*mandatory*) : bloque les lectures ou écritures incompatibles avec les verrous présents ; c'est le mode qui a été décrit précédemment
  - mode consultatif (*advisory*) : ne bloque pas les lectures ou écritures (empêche seulement la pose de verrous incompatibles)
- Deux primitives utilisables (voir `man`)
  - `fcntl` : primitive générale, complexe
  - `lockf` : usage plus restreint (verrouillage exclusif seulement) ; réalisé comme enveloppe de `fcntl`

Caractéristiques

- On peut verrouiller un fichier entier ou seulement une partie (permet d'augmenter le parallélisme)
- Les verrous sur un même fichier sont tous dans le même mode (impératif ou consultatif). Mode consultatif par défaut.

Verrouillage de fichiers dans Unix : `lockf`

```
#include <errno.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>

int lockf(int fd, int function, off_t size)
```

`fd` : decripteur du fichier à verrouiller
`function` : mode de verrouillage
- `F_ULOCK` : déverrouiller
- `F_LOCK` : verrouillage exclusif
- `F_TLOCK` : verrouillage exclusif avec test
- `F_TEST` : test seulement

`size` : nombre d'octets à verrouiller depuis la position courante (si 0, tout le fichier, seule option que nous utiliserons)

En cas de succès, `lockf` renvoie 0. En cas d'échec, `lockf` renvoie –1 et affecte un code d'erreur à la variable `errno` selon la nature de l'erreur.

Verrouillage de fichiers dans Unix : `lockf`

Comment réaliser les opérations v-excl(f) et dev(f) ?

Soit `fd` un descripteur de `f`, obtenu par `fd = open(f, mode)`, où `mode` indique le mode d'accès (détails dans cours sur systèmes de fichiers).

Alors le verrouillage exclusif v-excl est obtenu par :

```
        lockf(fd, F_LOCK, 0)
ou      lockf(fd, F_TLOCK, 0)
```

Différence entre `F_LOCK` et `F_TLOCK` : `F_LOCK` est bloquant si le fichier est déjà verrouillé ; `F_TLOCK` n'est pas bloquant et renvoie un code d'erreur

Le déverrouillage dev(f) est obtenu par :

```
        lockf(fd, F_ULOCK, 0)
```

Verrouillage de fichiers dans Unix : exemple

testlock.c

```
include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#define TRUE 1
int main(void) {
  int fd;
  fd = Open("toto", O_RDWR); /* doit exister */
  while(TRUE){
    if (lockf(fd, F_TLOCK, 0) == 0){
      printf("%d a verrouillé le fichier\n",
          getpid());
      sleep(5);
      if (lockf(fd, F_ULOCK, 0) == 0)
         printf("%d a déverrouillé le
             fichier\n", getpid());
      return;
    } else {
      printf("%d a trouvé le fichier déjà
         verrouillé, réessaie...\n", getpid());
      sleep (2);
    }
  }
}
```

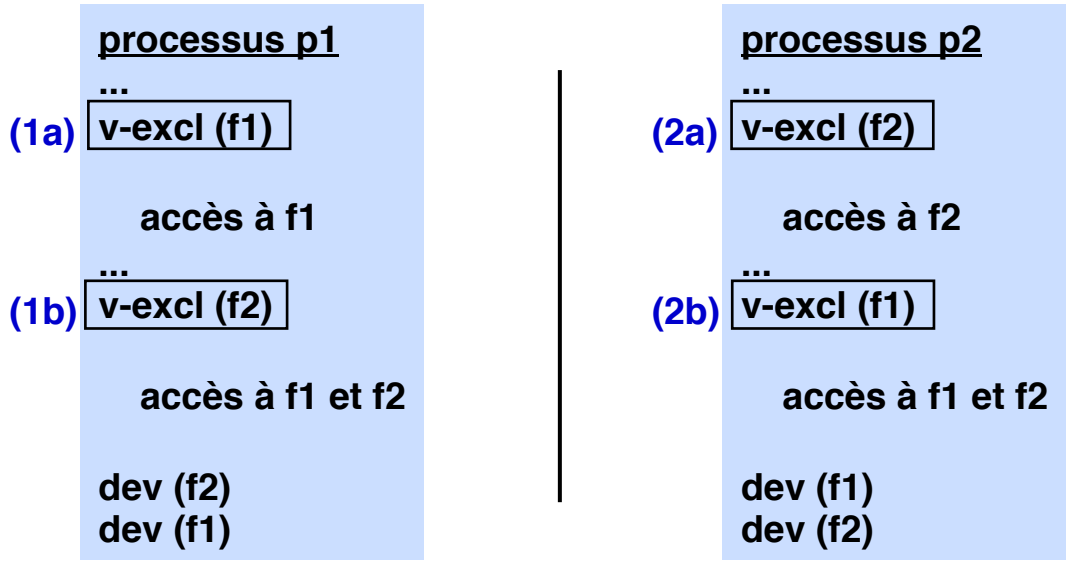
Question : que se passe-t-il si on remplace `F_TLOCK` par `F_LOCK` ?

```
<unix> testlock & testlock &
15545 a verrouillé le fichier
[4] 15545
15546 a trouvé le fichier déjà
verrouillé, réessaie
[5] 15546
<unix> 15546 a trouvé le fichier
déjà verrouillé, réessaie
15546 a trouvé le fichier déjà
verrouillé, réessaie
15545 a déverrouillé le fichier
15546 a verrouillé le fichier
15546 a déverrouillé le fichier
<unix>
```

Utilisation simultanée de plusieurs fichiers (1)

Situation

- Les processus p1 et p2 partagent deux fichiers f1 et f2, et les utilisent en accès exclusif



Déroulement

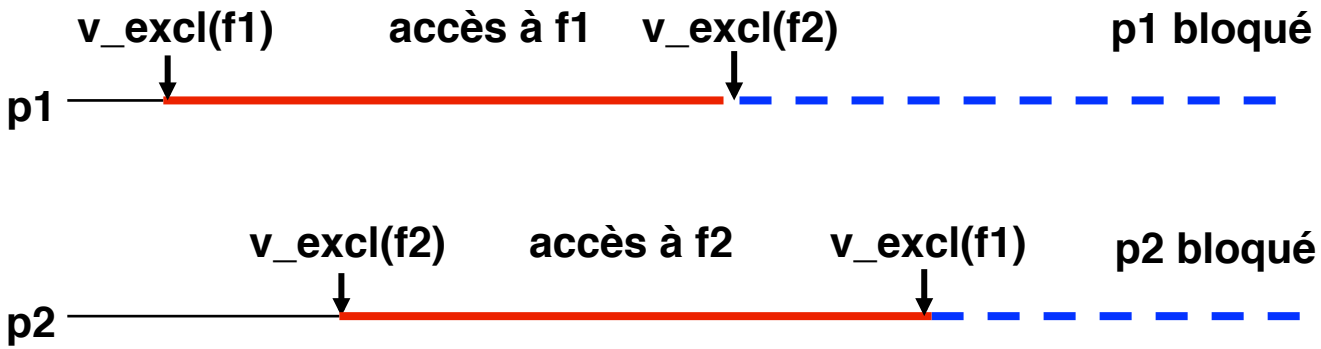
- p1 et p2 s'exécutent en parallèle (ou pseudo-parallèle)

Pour une exécution particulière, la séquence est : 1a ; 1b ; 2a ; 2b ; ...
Pour une autre exécution, la séquence est : 1a ; 2a ; 1b ; 2b ; ...

Que se passe-t-il dans chaque cas ?

Utilisation simultanée de plusieurs fichiers (2)

- **Exécution dans l'ordre 1a ; 2a ; 1b ; 2b ; ...**



Situation après le deuxième v_excl(f1) : les deux processus p1 et p2 sont bloqués, et le resteront indéfiniment :

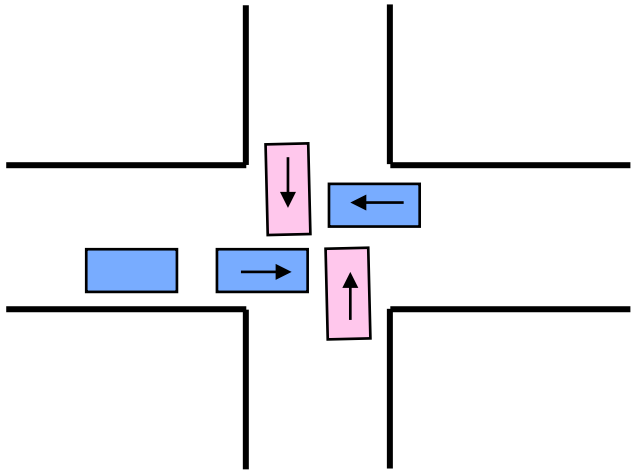
pour réveiller p1, il faut faire dev(f2) qui ne peut être fait que par p2, bloqué
pour réveiller p2, il faut faire dev(f1) qui ne peut être fait que par p1, bloqué

Cette situation s'appelle **interblocage** (en anglais *deadlock*)

Interblocage : caractérisation

- **Définition de l'interblocage**
  - Situation dans laquelle plusieurs processus (au moins 2) sont bloqués, chacun d'eux ne pouvant être réveillé que par une action de l'un des autres
  - On ne peut pas sortir d'une situation d'interblocage sans intervention extérieure
- **Conditions d'apparition**
  - L'interblocage se produit lorsque plusieurs processus sont en compétition pour utiliser simultanément plusieurs ressources, et que les demandes sont mal coordonnées (attente circulaire)
  - Un exemple hors informatique : carrefour

Questions :
que sont ici les ressources ?
comment sortir de l'interblocage ?



Comment prévenir l'interblocage ?

- **Solution 1 : réservation globale**
  - Chaque processus demande globalement (en bloc) toutes les ressources dont il a besoin
  - Inconvénient : réduit les possibilités de parallélisme
  - Analogie du carrefour : *les feux*
- **Solution 2 : requêtes ordonnées**
  - L'interblocage est impossible si tous les processus demandent dans le même ordre les ressources dont ils ont besoin

demande f1…

… puis f2

```
processus p1
...
v-excl (f1)
   accès à f1
   ...
v-excl (f2)

   accès à f1 et f2

dev (f2)
...
dev (f1)
```

```
processus p2
...
v-excl (f1)
   accès à f1
   ...
v-excl (f2)

   accès à f1 et f2

dev (f1)
...
dev (f2)
```

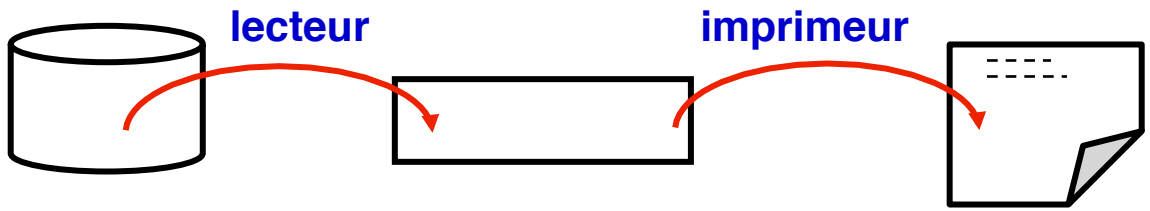
Analogie du carrefour :
le rond-point giratoire

Lutter contre l'interblocage

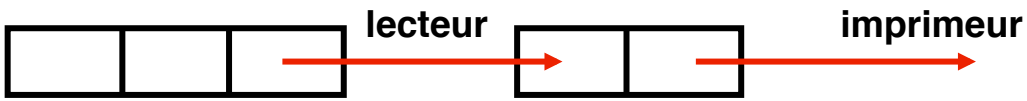
- **On ne peut pas sortir d'une situation d'interblocage sans perdre quelque chose**
- **Possibilités de "guérison"**
  - Faire revenir un ou plusieurs processus en arrière, dans un état antérieur (on perd le travail réalisé depuis cet état)
    - nécessite d'avoir conservé l'état antérieur
  - Tuer un ou plusieurs processus pour libérer les ressources
- **Conclusion**
  - Pour choisir entre prévention et guérison, il faut apprécier les coûts relatifs de l'une et de l'autre dans la situation particulière
    - coût de la prévention : application d'une politique systématique de réservation de ressources
    - coût de la guérison : détection de l'interblocage + pertes résultant du retour en arrière

Introduction à la coopération entre processus

- **Jusqu'ici, on n'a vu que des situations de compétition entre processus**
  - pour l'utilisation du processeur
  - pour l'accès à un fichier
- **Un exemple de situation de coopération**
  - un processus *lecteur* lit un fichier depuis le disque vers la mémoire centrale
  - un processus *imprimeur* récupère le fichier dans la mémoire centrale et l'envoie à l'imprimante

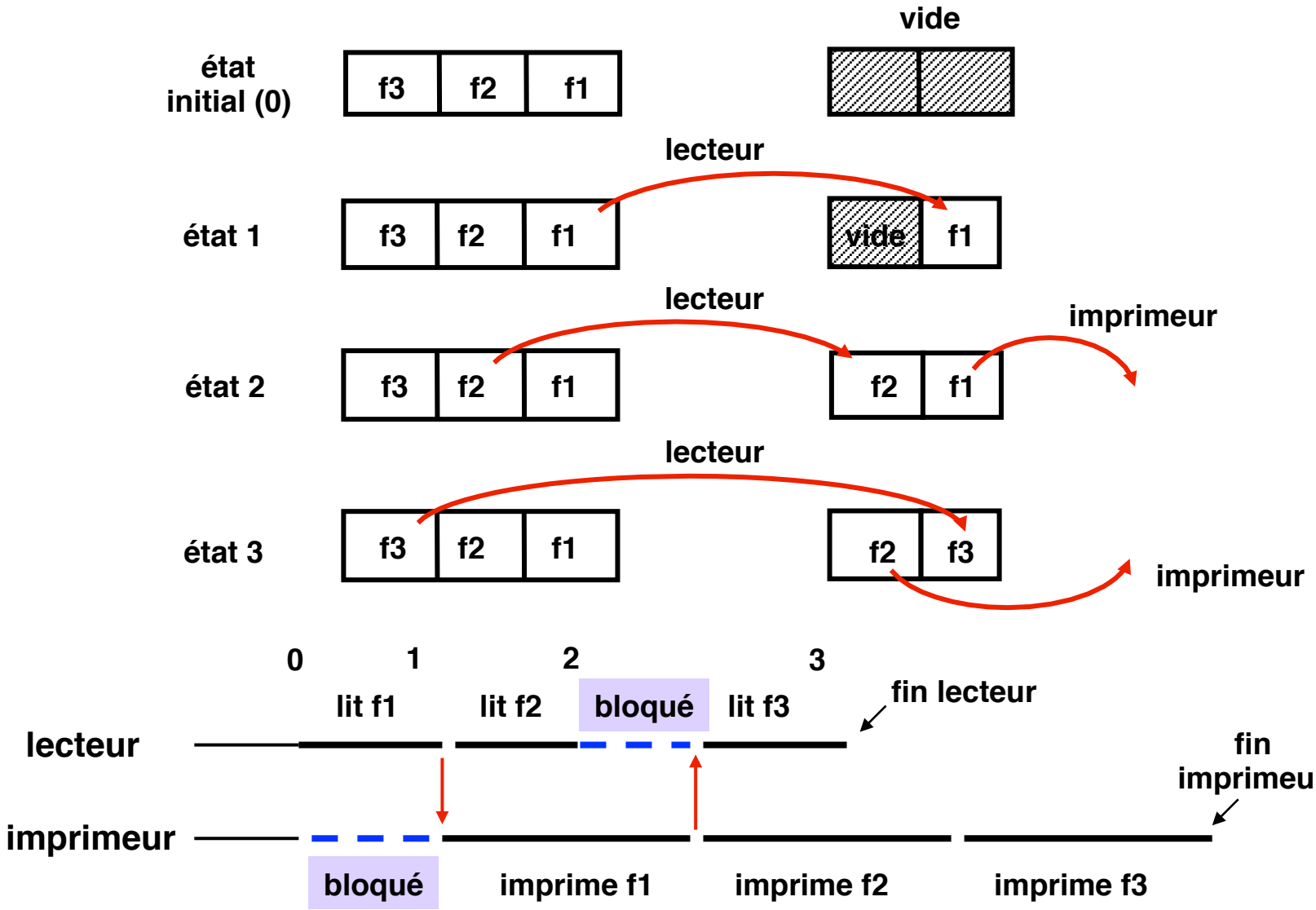


- **Contraintes**
  - La place en mémoire est restreinte…
  - …mais on veut exécuter lecteur et imprimeur en parallèle



  - Solution : un "tampon" de n cases (ici n=2), et le fichier a une taille de 3 cases

Coopération entre processus



Le schéma producteur - consommateur

Le schéma lecteur -> tampon -> imprimeur est un exemple du schéma général de coopération dit “producteur - consommateur”

tampon (taille bornée)

Utilité

On cherche à augmenter le parallélisme entre producteur et consommateur, malgré une différence possible de leurs vitesses d’exécution

La taille du tampon est d’autant plus grande que la différence de vitesses est grande

Fonctionnement

Condition de blocage du consommateur : le tampon est vide

Condition de blocage du producteur : le tampon est plein (on ne peut pas y déposer de l’information sans “écraser” de l’information encore non consommée)

En fait, le fonctionnement est symétrique (le consommateur est un producteur de cases vides)

Applications

Entrées-sorties tamponnées (*spool*)

Traitements en pipe-line : cf les tubes (*pipes*) d’Unix, à voir plus loin

Résumé de la séance 3

- **Réalisation de l'exclusion mutuelle par verrouillage**
  - accès à des informations en mode exclusif
  - accès à des informations en mode exclusif ou partagé
- **Les problèmes de l'exclusion mutuelle**
  - Problèmes de réalisation (atomicité)
  - Problèmes d'utilisation (interblocage)
- **Introduction à la coopération entre processus**
  - schéma producteur-consommateur