Conception et Programmation d'Applications Réparties

M1 Informatique
Université d'Evry Val d'Essonne
Tarek Melliti (tarek.melliti@ibisc.fr)
Pascal Poizat (pascal.poizat@lri.fr)

Plan du cours

- Introduction et motivations
- Concurrence intra-application (threads)
- Concurrence inter-applications
  - connecteurs de base (sockets)
  - appels de procédures distantes (RPC)
  - objets distribués (RMI)
  - services Web (WS)

important:

Le cours porte sur l'analyse et la programmation d'applications réparties

Le terme d'analyse (et par là-même, de conception) est aussi important que celui de programmation

Introduction et motivations

done on the board

& with demos

Processus légers (threads)

Système réparti

- un système réparti est une collection de processus indépendants et coopératifs s'exécutant sur une ou plusieurs machines et apparaissant comme un seul et unique système cohérent

- cas 1 : concurrence intra (ou parallélisme)
  - plusieurs processus sur une même machine
- cas 2 : concurrence inter (ou répartition)
  - plusieurs processus sur plusieurs machines
  - pas d'horloge ni de mémoire commune

Pourquoi le parallélisme (dans ce cours)

- forme simple de système réparti, permettant d'aborder : concurrence - synchronisation - états cohérents
- permet de simuler la répartition par le biais de «pipes»
- permet de comprendre l'important de l'analyse des applications réparties
- illustration avec les processus léger en Java (threads)

Processus lourds vs légers

- un processus lourd à son propre environnement d'exécution (espace mémoire)
- un processus léger partage son environnement d'exécution

Processus lourds vs légers

- efficacité
  - création des processus légers plus rapide
  - plusieurs processus pour différentes tâches, mais communication entre processus légers plus simple
- espace mémoire
  - un processus lourd son propre espace mémoire
  - les processus légers partagent l’espace mémoire

Processus léger en Java

- un processus léger (thread) est un objet (nous somme en Java !)
- une application Java peut contenir plusieurs threads
- il existe toujours un premier thread (main / JVM)
- deux possibilités :
  - instance de la classe `Thread` ou d'une sous classe définie par le programmeur - problème : absence d'héritage multiple en Java
  - instance d'une classe qui implante l'interface `Runnable` (un thread est alors attaché à l'objet)

Processus légers en Java

- avec Thread :
  ```
  class MonThread extends Thread { ... }
  MonThread p1 = new MonThread( ... );
  ```
- avec Runnable :
  ```
  class MonThread extends ... implements Runnable { ... }
  MonThread p1 = new MonThread( ....);
  ```
- il faut définir la méthode `run()`, c'est le «code» du thread
- le lancement du thread se fait avec la méthode `start()`

Exemple : balle v1 (1/2)

```
class Ball {
private Component canvas;
private static final int XSIZE = 15;
private static final int YSIZE = 15;
private int x = 0;
private int y = 0;
private int dx = 2;
private int dy = 2;
public static boolean freeze = false;

public Ball(Component c) { canvas = c; }

public void draw(Graphics2D g2) {
  g2.fill(new Ellipse2D.Double(x, y, XSIZE, YSIZE));
}

public void go() {
  try {
    while (true) {
      if (!freeze)
            move();
      }
   }
    catch (InterruptedException exception) {}
 }
```

```
public void move() {
    x += dx;
    y += dy;
    if (x < 0) {
      x = 0;
      dx = -dx;
    }
    if (x + XSIZE >= canvas.getWidth()) {
      x = canvas.getWidth() - XSIZE;
      dx = -dx;
    }
    if (y < 0) {
       y = 0;
       dy = -dy;
    }
    if (y + YSIZE >= canvas.getHeight()) {
      y = canvas.getHeight() - YSIZE;
      dy = -dy;
    }
    canvas.paint(canvas.getGraphics());
  }

}
```

Exemple : balle v1 (2/2)

```
class BounceFrame extends JFrame {
private BallCanvas canvas;

public BounceFrame() {
  setSize(450, 350);
  setTitle("Bounce");
  Container contentPane = getContentPane();
  canvas = new BallCanvas();
  contentPane.add(canvas, BorderLayout.CENTER);
  JPanel buttonPanel = new JPanel();
  addButton(buttonPanel, "New",
    new ActionListener() {
      public void actionPerformed(ActionEvent evt){
        canvas.addBall();
      }});
    addButton(buttonPanel, "Start/Stop",
      new ActionListener() {
        public void actionPerformed(ActionEvent evt){
          Ball.freeze = !Ball.freeze;
        }});
    contentPane.add(buttonPanel, BorderLayout.SOUTH);
  }

public void addButton(Container c, String title,
    ActionListener listener) {
    JButton button = new JButton(title);
    c.add(button);
    button.addActionListener(listener);
  }
}
```

```
class BallCanvas extends JPanel {
  private ArrayList balls = new ArrayList();

  public void addBall() {
    Ball b = new Ball(this);
    balls.add(b);
    b.go();
  }

  public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    for (int i = 0; i < balls.size(); i++) {
      Ball b = (Ball)balls.get(i);
      b.draw(g2);
    }
  }
}
```

Exemple : balle v1

- problème : l'animation de la balle bloque l'IHM
  - les boutons ne sont plus actifs
  - impossible de fermer la fenêtre
- solution : séparer IHM et balle dans deux threads
  - le thread principal gère l'IHM
  - un nouveau thread est créé pour la balle

Exemple : balle v2

- transformer la balle en thread
  - extension de la classe Thread
  - surcharger la méthode run()
  - démarrer les threads avec start()
  - un thread pour chaque balle

Exemple : balle v2 (1/2)

```
class Ball {
  private Component canvas;
  private static final int XSIZE = 15;
  private static final int YSIZE = 15;
  private int x = 0;
  private int y = 0;
  private int dx = 2;
  private int dy = 2;
  public static boolean freeze = false;

  public Ball(Component c) { canvas = c; }

  public void draw(Graphics2D g2) {
    g2.fill(new Ellipse2D.Double(x, y, XSIZE, YSIZE));
  }

  public void go() {
    try {
      while (true) {
        if (!freeze)
          move();
        }
      }
      catch (InterruptedException exception) {}
    }
```

```
class Ball extends Thread {
  private Component canvas;
  private static final int XSIZE = 15;
  private static final int YSIZE = 15;
  private int x = 0;
  private int y = 0;
  private int dx = 2;
  private int dy = 2;
  public static boolean freeze = false;

  public Ball(Component c) { canvas = c; }

  public void draw(Graphics2D g2) {
    g2.fill(new Ellipse2D.Double(x, y, XSIZE, YSIZE));
  }

  public void run() {
    try {
      while (true) {
        if (!freeze)
          move();
        }
      }
      catch (InterruptedException exception) {}
    }
```

Exemple : balle v2 (2/2)

```
class BallCanvas extends JPanel {
  private ArrayList balls = new ArrayList();

  public void addBall() {
    Ball b = new Ball(this);
    balls.add(b);
    b.go();
  }

  public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    for (int i = 0; i < balls.size(); i++) {
      Ball b = (Ball)balls.get(i);
      b.draw(g2);
    }
  }
}
```

```
class BallCanvas extends JPanel {
  private ArrayList balls = new ArrayList();

  public void addBall() {
    Ball b = new Ball(this);
    balls.add(b);
    b.start();
  }

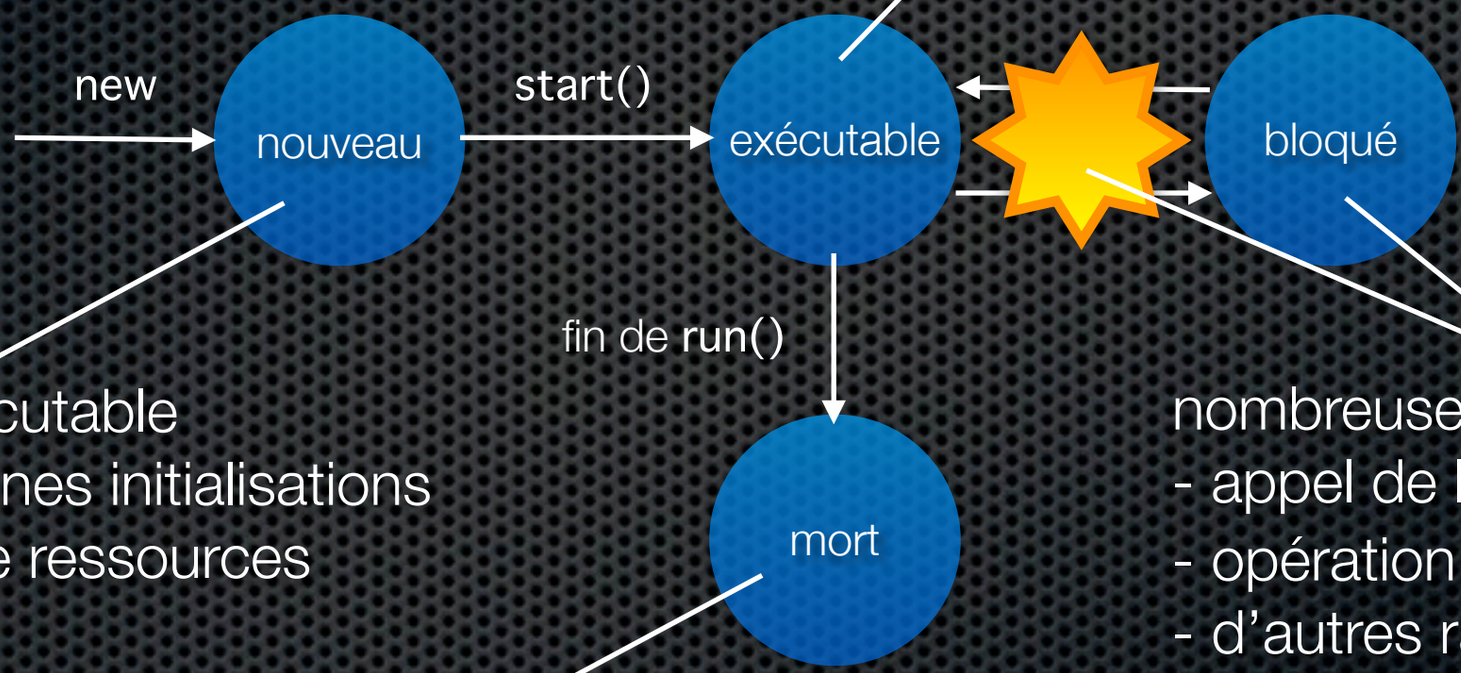
  public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    for (int i = 0; i < balls.size(); i++) {
      Ball b = (Ball)balls.get(i);
      b.draw(g2);
    }
  }
}
```

Java.lang.Thread

- Thread()
  - nouveau thread
- run()
  - méthode principale du thread, doit être surchargée
- start()
  - lance le thread et appelle run()
  - redonne la main, le nouveau thread est exécuté en parallèle

Etats d'un thread

exécutable (pour Java)
c'est l'OS qui passe de l'un à l'autre
(gestion différente selon les OS)



pas encore exécutable
il manque certaines initialisations
et l'allocation de ressources

nombreuses raisons possibles
- appel de la méthode sleep()
- opération E/S bloquante
- d'autres raisons dans la suite ...

fin normale après run()
exception non récupérée
à éviter (deprecated)

Interruption de threads (1/3)

- principe :
  un thread s'arrête quand sa méthode `run()` est terminée
- pas de méthode intégrée pour mettre fin au thread
- `run()` doit vérifier régulièrement si elle doit terminer
- ```
  public void run() {
  while (encore du travail) {
      faire le travail;
      se mettre en sommeil;
  }}
  ```
  ```

Interruption de threads (2/3)

- problème :
  le thread ne peut pas déterminer s'il doit s'arrêter pendant qu'il dort
- solution :
  utiliser la méthode interrupt() et InterruptedException
- public void run() {
  try {
  while (encore du travail) {
  faire le travail;
  se mettre en sommeil;
  }}
  catch (InterruptedException e) { ... }
  }

Interruption de threads (3/3)

- problème :
  pas d'exception levée si l'appel à `interrupt()` se produit pendant que le thread est actif ou bloqué sur une opération d'E/S
- solution :
  utiliser la méthode `interrupted()`

```
public void run() {
try {
    while (!interrupted() && encore du travail) {
        faire le travail;
        se mettre en sommeil;
    }}
catch (InterruptedException e) { ... }
}
```

Exemple : balle v3 (1/2)

```
class BallCanvas extends JPanel {
  private ArrayList balls = new ArrayList();

  public void addBall() {
    Ball b = new Ball(this);
    balls.add(b);
    b.start();
  }

  public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    for (int i = 0; i < balls.size(); i++) {
      Ball b = (Ball)balls.get(i);
      b.draw(g2);
    }
  }
}
```

```
class BallCanvas extends JPanel {
  private ArrayList balls = new ArrayList();

  public void addBall() {
    Ball b = new Ball(this);
    balls.add(b);
    b.start();
  }

  public void interrupt() {
    if (balls.size() != 0) {
      Ball b = (Ball)balls.get(0);
      b.interrupt();
      balls.remove(0);
    }
    repaint();
  }

  public void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    for (int i = 0; i < balls.size(); i++) {
      Ball b = (Ball)balls.get(i);
      b.draw(g2);
    }
  }
}
```

Exemple : balle v3 (2/2)

```
class Ball extends Thread {
  private Component canvas;
  private static final int XSIZE = 15;
  private static final int YSIZE = 15;
  private int x = 0;
  private int y = 0;
  private int dx = 2;
  private int dy = 2;
  public static boolean freeze = false;

public Ball(Component c) { canvas = c; }

public void draw(Graphics2D g2) {
  g2.fill(new Ellipse2D.Double(x, y, XSIZE, YSIZE));
}

public void run() {
  try {
    while (true) {
      if (!freeze)
          move();
      }
  }
   catch (InterruptedException exception) {}
 }
```

```
class Ball extends Thread {
  private Component canvas;
  private static final int XSIZE = 15;
  private static final int YSIZE = 15;
  private int x = 0;
  private int y = 0;
  private int dx = 2;
  private int dy = 2;
  public static boolean freeze = false;

public Ball(Component c) { canvas = c; }

public void draw(Graphics2D g2) {
  g2.fill(new Ellipse2D.Double(x, y, XSIZE, YSIZE));
}

public void run() {
  try {
    while (!interrupted()) {
      if (!freeze)
          move();
      }
  }
   catch (InterruptedException exception) {}
 }
```

Java.lang.Thread

- void interrupt()
  - envoie une demande d'interruption à un thread
    et positionne le «flag» interrompu du thread à true
  - si le thread est bloqué au moment de la demande
    alors une InterruptedException est levée
- static boolean interrupted()
  - examine si le thread courant a été interrompu
    et positionne le «flag» interrompu à false
- boolean isInterrupted()
  - examine si un thread a été interrompu
    mais ne modifie pas le «flag» interrompu

Groupes de threads

- une application peut reposer sur de nombreux threads
- il est possible de les regrouper pour les manipuler (démarrage, arrêt) de façon simplifiée / groupée
- ```
  ThreadGroup group_b = new ThreadGroup(«balls»);
  Balle bi = new Thread(group_b, «ball»); // n fois
  group_b.start();
  ```
  ```

Groupes de threads

- une application peut reposer sur de nombreux threads
- il est possible de les regrouper pour les manipuler (démarrage, arrêt) de façon simplifiée / groupée
- ```
  ThreadGroup group_b = new ThreadGroup(«balls»);
  Balle bi = new Thread(group_b, «ball»); // n fois
  group_b.start();
  ```
  ```

Java.lang.ThreadGroup

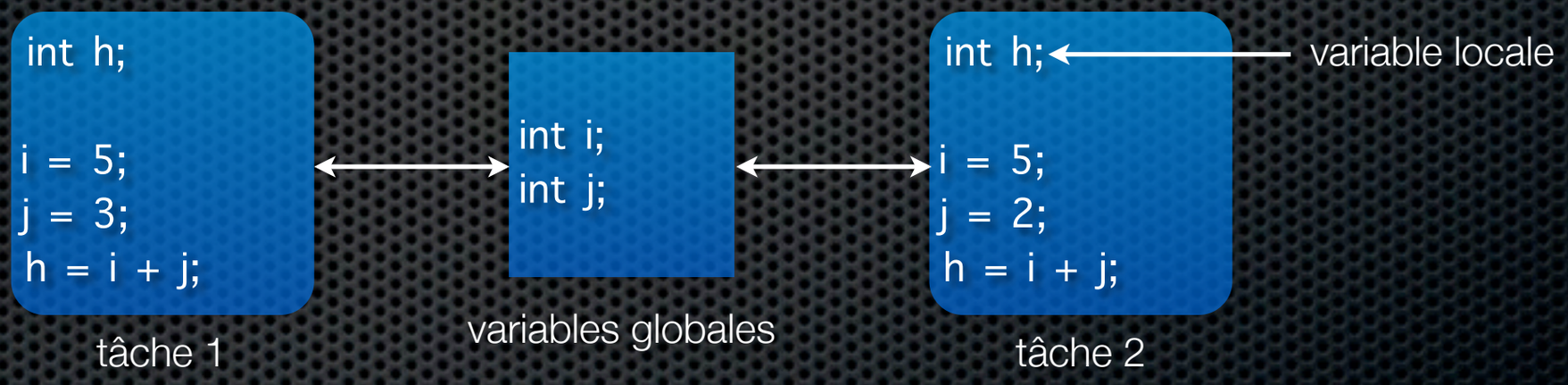
- ThreadGroup(String name)
  - nouveau groupe, son parent est le groupe courant
- ThreadGroup(ThreadGroup parent, String name)
  - nouveau groupe, son parent est spécifié
- int activeCount() : nb threads actifs dans le groupe
- ThreadGroup getParent() : groupe parent
- void interrupt() : interruption des threads du groupe ou des groupes fils (et récursivement)

Java.lang.Thread

- Thread(ThreadGroup group, String name)
  - nouveau thread, son groupe est spécifié
- ThreadGroup getThreadGroup()
  - groupe du thread

Problème de ré-entrance (test and set)

- ré-entrance
  - accès concurrent à une ressource
  - partage de données par zone mémoire commune



- test and set
  - problème d'atomicité des opérations
  - if (solde-retrait > 0) { solde -= retrait; }

Exemple : Mr & Mrs Smith (1/2)

```
  public class Compte {
private int valeur;

Compte(int val) { valeur = val; }

public int solde() {
    return valeur;
}

public void depot(int somme) {
    if (somme > 0)
        valeur+=somme;
    }

    public boolean retirer(int somme) {
        if (somme > 0)
            if (somme <= valeur) {
                Thread.currentThread().sleep(50);
                valeur -= somme;
                Thread.currentThread().sleep(50);
                return true;
            }
        return false;
    }
}
```

```
public class Banque implements Runnable {
    Compte nom;

    Banque(Compte n) { nom = n; }

    public void Liquide (int montant) {
        if (nom.retirer(montant)) {
            Thread.currentThread().sleep(50);
            Donne(montant);
            Thread.currentThread().sleep(50);
        }
        ImprimeRecu();
        Thread.currentThread().sleep(50); }

    public void Donne(int montant) {
        System.out.println(Thread.currentThread().
        getName()+": Voici vos " + montant + " euros."); }

    public void ImprimeRecu() {
        if (nom.solde() > 0)
            System.out.println(Thread.currentThread().
              getName()+": Il vous reste " + nom.solde() + " euros.");
        else
            System.out.println(Thread.currentThread().
              getName()+": Vous etes fauches!"); }

    public void run() {
            for (int i=1;i<10;i++) {
                Liquide(100*i);
              Thread.currentThread().sleep(50)
            }}
}
```

Exemple : Mr & Mrs Smith (2/2)

Exécution

```
public static void main(String[] args) {
Compte Commun = new Compte(1000);
Runnable Mari = new Banque(Commun);
Runnable Femme = new Banque(Commun);
Thread tMari = new Thread(Mari);
Thread tFemme = new Thread(Femme);
tMari.setName("Conseiller Mari");
tFemme.setName("Conseiller Femme");
tMari.start();
tFemme.start();
```

Trace

```
Conseiller Mari: Voici vos 100 euros.
Conseiller Femme: Voici vos 100 euros.
Conseiller Mari: Il vous reste 800 euros.
Conseiller Femme: Il vous reste 800 euros.
Conseiller Mari: Voici vos 200 euros.
Conseiller Femme: Voici vos 200 euros.
Conseiller Femme: Il vous reste 400 euros.
Conseiller Mari: Il vous reste 400 euros.
Conseiller Mari: Voici vos 300 euros.
Conseiller Femme: Voici vos 300 euros.
Conseiller Femme: Vous etes fauches!
Conseiller Mari: Vous etes fauches! ...
```

Mr et Mrs Smith
avaient 1000 €
et ont pu retirer 1200 €

Explication ?

- évident si l'on connait les actions atomiques de chacun des threads (ici, deux) et la façon dont le système les exécute

- il faut connaître la sémantique du programme précédent, et donc celle de Java

- prenons un langage jouet
  EXPR ::= CONST | VAR | EXPR OPE EXPR
  TEST ::= EXPR OPT EXPR | !TEST | TEST && TEST | TEST || TEST
  OPE ::= + | - | * | /
  OPT ::= < | > | ==
  INSTR ::= VAR := EXPR
  BLOCK ::= INSTR ; BLOCK | if TEST { BLOCK } { BLOCK } | while TEST { BLOCK }

Sémantique (1/)

- soit L le langage engendré par cette grammaire modèle sémantique : systèmes de transitions
- un système de transitions LTS = (S, s_0, F, E, T) où
  - S, est l'ensemble des états possibles du programme
  - $s_0 \in S$, est l'état initial
  - $F \subseteq S$, est un ensemble d'états finaux
  - E, est l'ensemble des étiquettes (événement atomique)
  - $T \subseteq S \times E \times S$, est l'ensemble des transitions

Sémantique (2/)

- que représente un état ?
  - comportement (actions qui restent à faire)
    + mémoire (état des variables du programme)

- soit N l'ensemble des noms de variables à valeur dans $\mathbb{Z}$,
  un état est un couple (l,H) avec :
  - $l \in L$, comportement
  - $H : V \rightarrow \mathbb{Z}$
    avec V l'ensemble des variables du programme

Sémantique (3/)

- que représente une transition ?
  - l'évolution d'un état (I,H) en un état (I',H') en fonction d'une instruction i, dénoté $(I,H) \rightarrow_{\{i\}} (I',H')$
- la définition de la sémantique (opérationnelle) se fait de façon inductive sur la syntaxe de L
- exemples :

$(x:=e;B, H) \rightarrow_{\{x:=e\}} (B, H')$ avec $H'=H[x \mapsto e(H)]$

$(\text{if } c \{B1\}\{B2\};B3, H) \rightarrow_{\{\tau then\}} (B1;B3, H)$ si $c(H)=true$

$(\text{if } c \{B1\}\{B2\};B3, H) \rightarrow_{\{\tau else\}} (B2;B3, H)$ si $c(H)=faux$

Sémantique (4/)

- soit un programme P, sa sémantique [|P|] est un LTS défini par application des règles sémantiques
- soient n programmes P_i, on peut leur associer à chacun sa sémantique [|P_i|]
- si ces programmes sont en parallèle, on note P_1 || ... || P_n
- pour définir la sémantique de P_1 || ... || P_n,
  on construit [| P_1 || ... || P_n |]
  de façon compositionnelle à partir des [|P_1|] ... [|P_n|]

Sémantique (5/)

- les événements d'un processus sont exécutés de façon séquentielle selon la sémantique choisie (LTS)
- sémantique par entrelacement
- étant donnés n LTS $L_i = (S_i, s_{0i}, F_i, E_i, T_i)$,
  on définit $L_1 \times ... \times L_n = (S, s_0, F, E, T)$ avec:
  - $S \equiv S_1 \times ... \times S_n$, $s_0 \equiv (s_{01},...,s_{0n})$, $F \equiv F_1 \times ... \times F_n$, $E \equiv E_1 \cup ... \cup E_n$
  - $(s_1,...,s_i,...,s_n) \rightarrow_{\{e\}} (s_1,...,s_i',...,s_n) \in T \Leftrightarrow s_i \rightarrow_{\{e\}} s_i' \in T_i$
- [|P1||...||Pn|] = [|P1|] × ... × [|Pn|]
- problème : on peut avoir des variables partagées

Sémantique (6/)

- on sépare les états pour les variables partagées
- $S \equiv S_1 \times \ldots \times S_n \times S_{global}$
  avec $S_{global} = (\varepsilon, H_{global})$
- pour les transitions, on perd la compositionnalité
  (voir transparent suivant)
- une exécution est une trace $s_0 \rightarrow \ldots \rightarrow s_f$ avec $s_f \in F$

Sémantique (7/)

- soit $S = (S_1, ..., S_i, ..., S_n, S_g)$, avec $\forall\, i \in \{1,...,n\}$ $S_i=(P_i,H_i)$, et $Sg = (\varepsilon, H_g)$. Notons $H_i^+ = H_i \cup H_g$, v^l une variable locale, v^g une variable globale
- $S \rightarrow_{\{a\}} (S_1, ..., S_i', ..., S_n, (\varepsilon, H_g')) \Leftrightarrow$

$P_i = v^l{:=}e;P_i'$ $\wedge\ a=v^l{:=}e$
$\wedge\ S_i'=(P_i', H_i[v_l \mapsto e(H_i^+)]) \wedge H_g'=H_g$

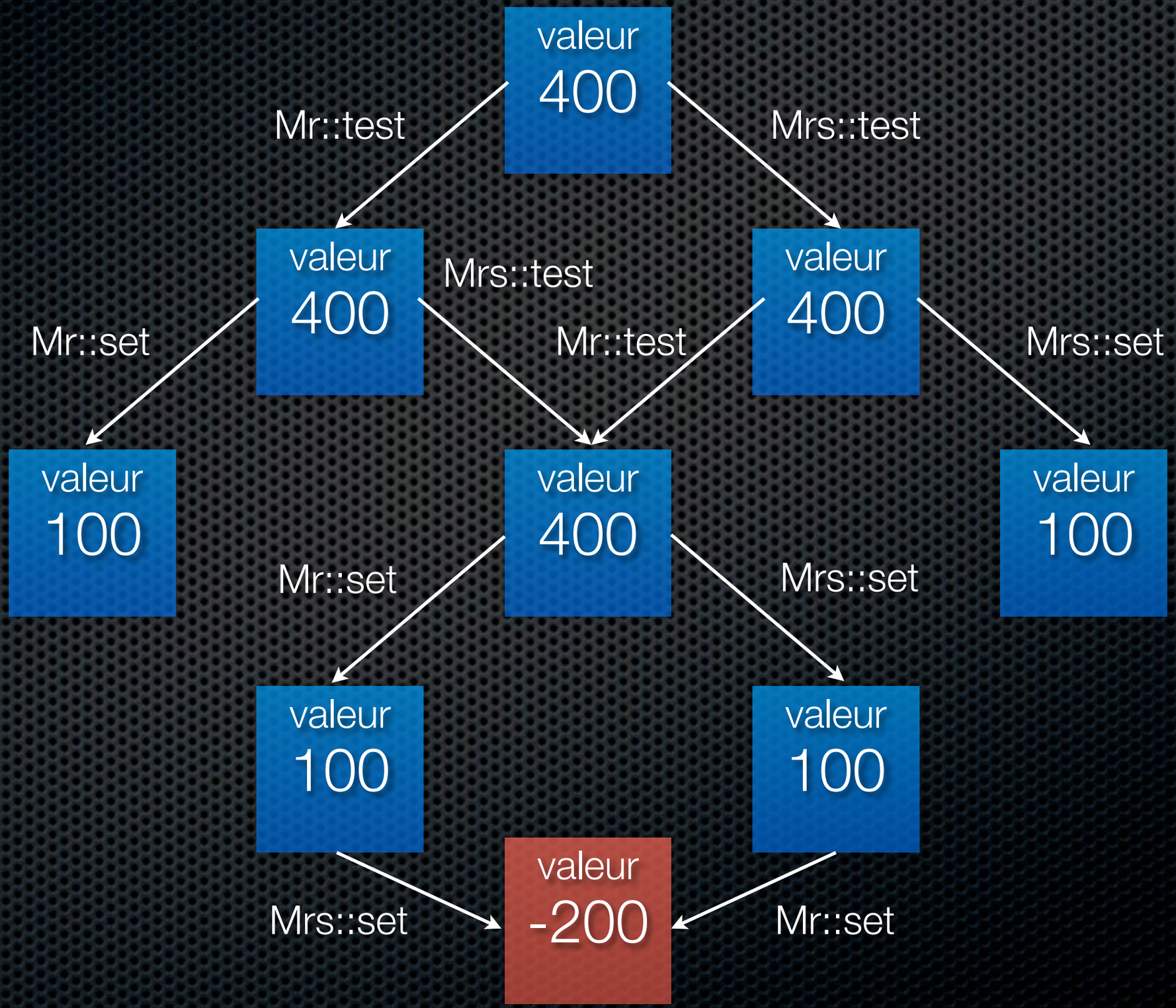
$\vee\ P_i = v^g{:=}e;P_i'$ $\wedge\ a=v^g{:=}e$
$\wedge\ S_i'=(P_i', H_i) \wedge H_g'=H_g[v_g l \mapsto e(H_i^+)])$

$\vee\ P_i = \text{if } c\ \{P_i'\}\{P_i''\} \wedge c(H_i^+)=\text{true}$ $\wedge\ a=\tau_{then}$
$\wedge\ S_i'=(P_i', H_i) \wedge H_g'=H_g$

$\vee\ P_i = \text{if } c\ \{P_i'\}\{P_i''\} \wedge c(H_i^+)=\text{false}$ $\wedge\ a=\tau_{else}$
$\wedge\ S_i'=(P_i'', H_i) \wedge H_g'=H_g$

$\vee$ ...

Retour sur Mr & Mrs Smith (1/2)



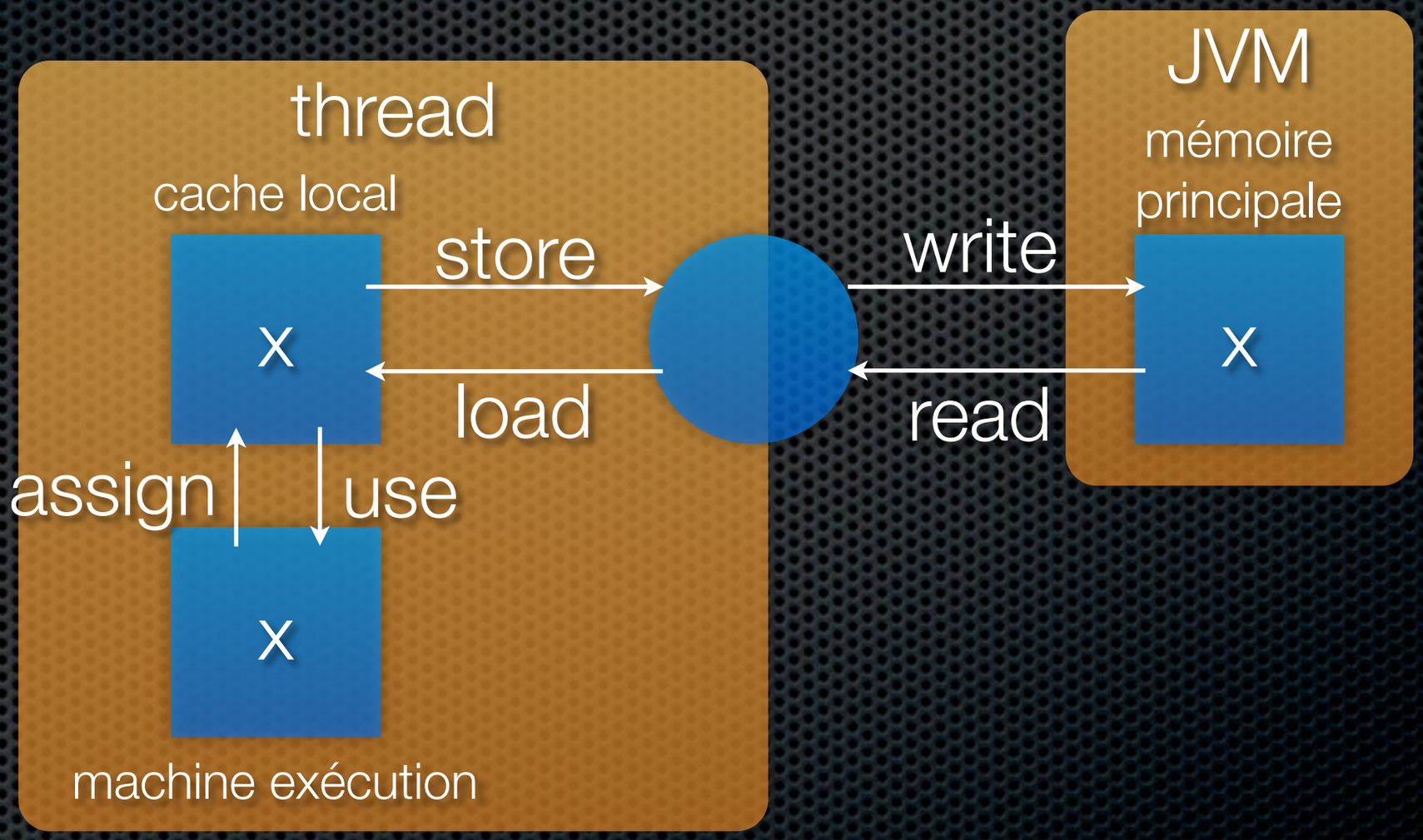
Retour sur Mr & Mrs Smith (2/2)

- notre langage jouet (et sa sémantique) correspondent-ils à Java ? il faut donc à deux questions :
  - quelles sont les actions atomiques ?
  - comment la JVM traite-t-elle les threads ?
    (nous avons répondu à cette question, c'est la sémantique par entrelacement à quelques détails près qui sortent du cadre du cours)
- JVM
  - chaque thread est chargé en mémoire avec une mémoire locale
  - les variables partagées (ici instance de `Compte`) sont logées dans la mémoire du thread maître (JVM / `main()`)
  - chaque thread possède une copie locale des variables partagées (cache), la cohérence de la mise à jour au niveau bas étant gérée par la JVM

Modèle mémoire Java théorique

v = v + 1;

read v
load v
use v (calcul)
assign v
store v
write v



- nb: pour les doubles et les longs ces actions ne sont pas atomiques
- http://java.sun.com/docs/books/jvms/second_edition/html/Threads.doc.html

synchronized

- Problème :
  - accès à des ressources partagées par plusieurs threads
  - possible conflit test/set, voire corruption de données
- Solution :
  - utilisation du mot-clé `synchronized` en Java
  - pour une méthode : assure que l'ensemble du code de la méthode pour chaque objet n'est exécuté que par un thread à la fois

Verrous d'objets en Java

- Principe :
  (t thread, o objet, ms méth. synch., m méth. non synch.)
  - si **t** appelle $o.ms_1$, alors **o** est verrouillé
    (t a le verrou de o)

puis :

- **t** a l'autorisation d'accéder à $o.ms_2$, $o.ms_3$, ...
- si **t'** appelle $o.ms_2$, alors **t'** est bloqué
  (jusqu'à ce que le verrou sur o soit levé)
- **t'** est libre d'appeler $o.m_1$, $o.m_2$, ...

Mr & Mrs Smith (la solution)

```
public class Compte {
    private int valeur;

    Compte(int val) { valeur = val; }

    public int solde() {
        return valeur;
    }

    public void synchronized depot(int somme) {
        if (somme > 0)
            valeur+=somme;
    }

    public boolean synchronized retirer(int somme) {
        if (somme > 0)
            if (somme <= valeur) {
                Thread.currentThread().sleep(50);
                valeur -= somme;
                Thread.currentThread().sleep(50);
                return true;
            }
        return false;
    }
}
```

```
public class Banque implements Runnable {
    Compte nom;

    Banque(Compte n) { nom = n; }

    public void Liquide (int montant) {
        if (nom.retirer(montant)) {
            Thread.currentThread().sleep(50);
            Donne(montant);
            Thread.currentThread().sleep(50);
        }
        ImprimeRecu();
        Thread.currentThread().sleep(50); }

    public void Donne(int montant) {
        System.out.println(Thread.currentThread().
        getName()+": Voici vos " + montant + " euros."); }

    public void ImprimeRecu() {
        if (nom.solde() > 0)
            System.out.println(Thread.currentThread().
              getName()+": Il vous reste " + nom.solde() + " euros.");
        else
            System.out.println(Thread.currentThread().
              getName()+": Vous etes fauches!"); }

    public void run() {
          for (int i=1;i<10;i++) {
              Liquide(100*i);
            Thread.currentThread().sleep(50)
          }}
}
```

Actions atomiques et JVM

- pour un thread, on rajoute
  - lock (P)
    réclame à la mémoire p^{ale} le verrou associé à un objet
  - unlock (V)
    libère le verrou associé à un objet
- appel d'une méthode synchronized o.m par t
  - si o non verrouillé, il le devient
  - si o verrouillé, t est bloqué (jusqu'à libération par autre t')

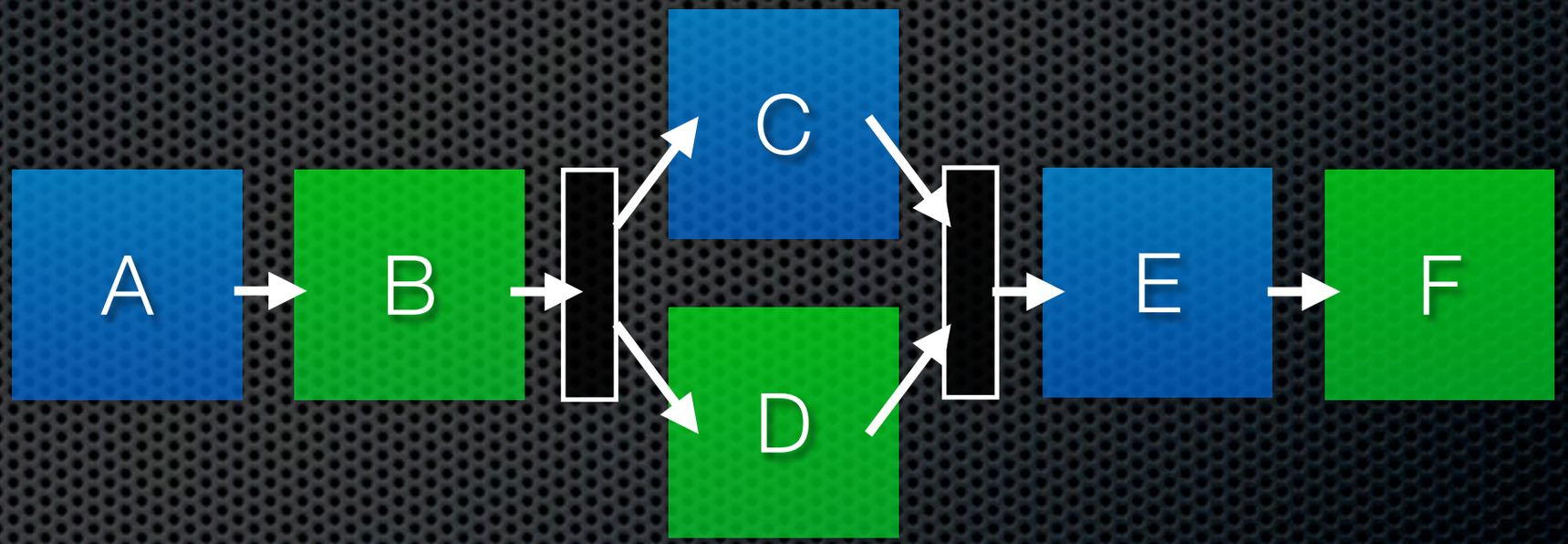
Verrous et sémantique

- pour chaque variable v, on rajoute :
  - deux actions, P(v) et V(v)
  - une fonction verrou, k : Var → {0,1}
- on rajoute k aux états, *i.e.*, états : (I,H,k)
- sémantique de P(v), en supposant que v existe
  $(P(v);B, H, k) \rightarrow_{\{P(v)\}} (B, H, k[v\mapsto 0])$ si $k(v)=1$
  c-à-d. que si k(v)=0 alors le thread est bloqué
- sémantique de V(v), en supposant que v existe
  $(V(v);B, H, k) \rightarrow_{\{V(v)\}} (B, H, k[v\mapsto 1])$
- c'est le blocage des transitions P qui limite l'entrelacement

Remarques sur synchronized

- l'utilisation de synchronized provoque la sérialisation des exécutions
- conséquence : ne les utiliser que lorsque c'est nécessaire, sinon baisse des performances de l'application
- le mécanisme de synchronized est implicite et statique
- il peut être nécessaire d'avoir des mécanismes plus souples, explicites et dynamiques, de verrouillage

Mécanismes explicites de verrouillage / déverrouillage



- deux processus
  - P_1 fait {A,C,E}
  - P_2 fait {B,D,F}
- on veut le workflow ci-dessus (en séquence ABCDEF ou ABDCEF)
- quel sont les comportements de P_1 et P_2 ?

wait et notify : principes (1/2)

- nécessité de mettre ne place un mécanisme de blocage contrôlé des threads
- wait
  - thread courant bloqué, rend le verrou, mis en liste d'attente
- notify (resp. notifyAll)
  - supprime un (resp. tous les) thread de la liste d'attente
    un thread supprimé de la liste redevient exécutable
  - lorsque le verrou est à nouveau disponible l'un des thread le prend et continue son exécution (InterruptedException)
- appels possibles si l'appelant a le verrou, sinon exception

wait et notify : principes (2/2)

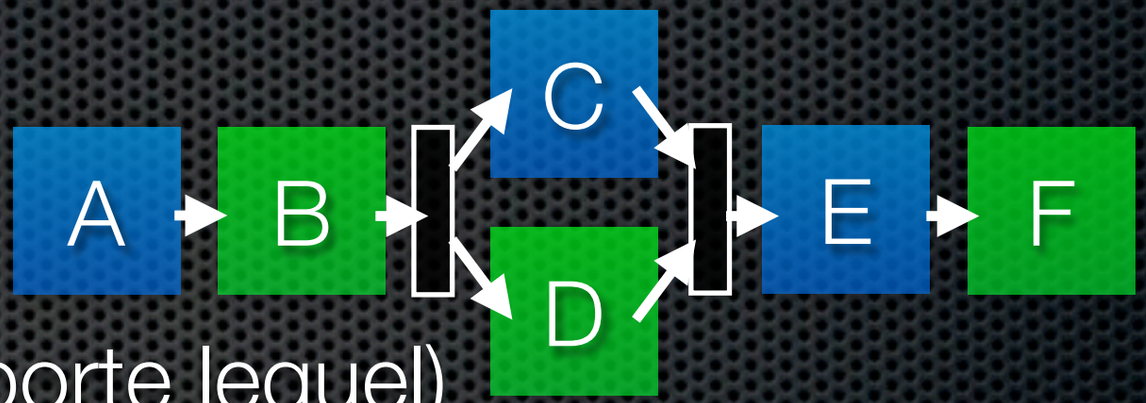
- attention !
  un thread qui appelle wait n'a pas moyen de s'auto-réveiller
  si tous les threads appellent wait sans qu'aucun n'appelle notify alors on aura un blocage (deadlock)
- attention ! (bis)
  les threads en attente ne sont pas réactivés si aucun thread ne travaille sur l'objet
- lors d'un appel à notify, impossible de savoir le thread qui sera débloqué - éventuellement utiliser notifyAll
- utiliser notifyAll lorsqu'un changement d'état d'objet pourraît être avantageux pour d'autres threads

wait et notify : vérification

- version simple pour 2 processus et 1 verrou
- on note état (P_x) avec P_x programme
  [|P_x|] donné par les évolutions de ^;P_x (^ dénote le démarrage)
- six règles de calcul de [| P_1 || P_2 |]

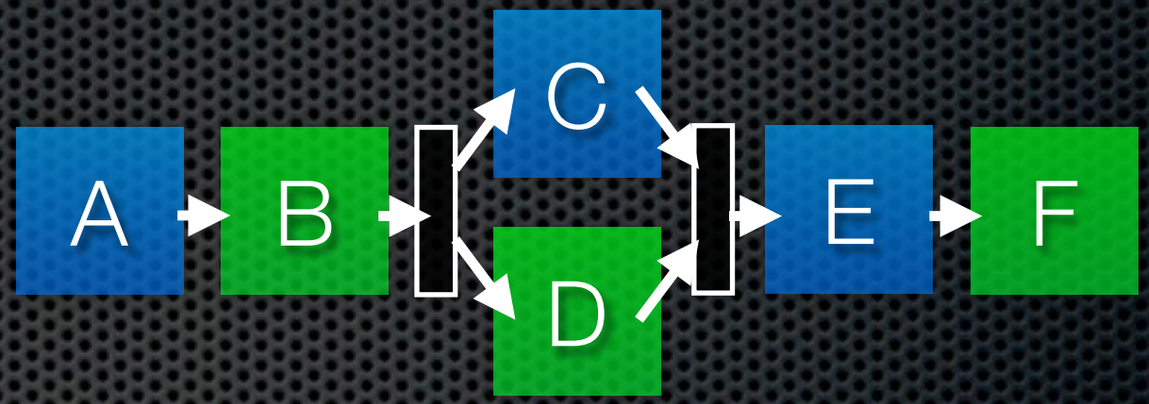
- R1 : si $P_1 \rightarrow_{\{E\}} P_1' \wedge E \notin \{N,W\}$
  alors $(P_1,P_2) \rightarrow_{\{E\}} (P_1',P_2)$ [*idem R1bis avec* $P_2 \rightarrow$]
- R2 : si $P_1 \rightarrow_{\{N\}} P_1' \wedge \neg P_2 \rightarrow_{\{W\}}$
  alors $(P_1,P_2) \rightarrow_{\{\tau\text{-}N\}} (P_1',P_2)$ [*idem R2bis ...*]
- R3 : si $P_1 \rightarrow_{\{N\}} P_1' \wedge P_2 \rightarrow_{\{W\}} P_2'$
  alors $(P_1,P_2) \rightarrow_{\{\tau\text{-}WN\}} (P_1',P_2')$ [*idem R3 bis ...*]

Solution des 2 processus ?



- on a un objet partagé o (ici n'importe lequel)
  o.W, resp. o.N, est un raccourci pour une méthode de o qui fait un wait, resp. un notify
- cette solution est-elle correcte ?
  - P_1 ≡ A(); o.N(); o.W(); C(); E(); o.N();
    P_2 ≡ o.W(); B(); o.N(); D(); o.W(); F();
- et celle-ci ?
  - P_1 ≡ A(); o.N(); o.W(); C(); o.W(); E(); o.N();
    P_2 ≡ o.W(); B(); o.N(); D(); o.N(); o.W(); F();

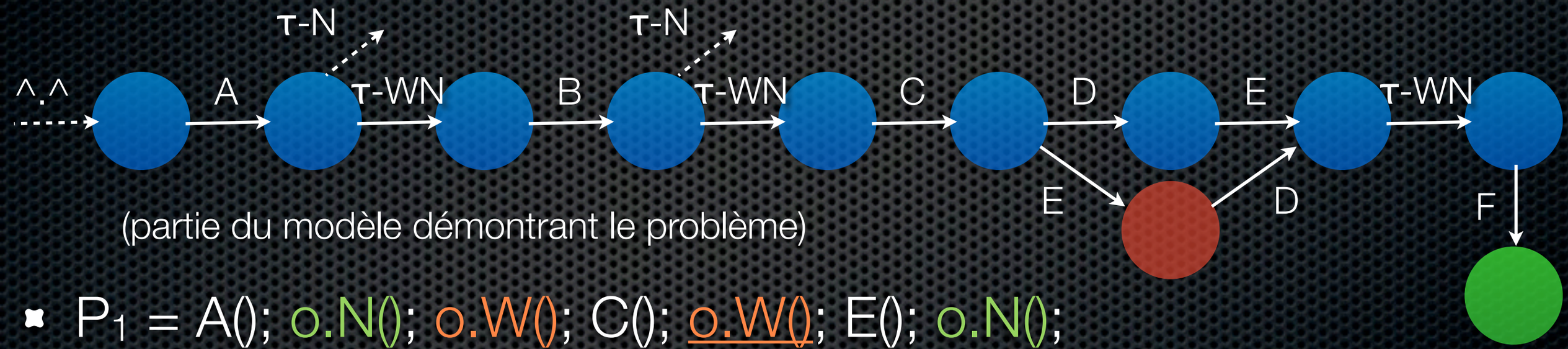
Solution des 2 processus ?



- cette solution est-elle correcte ?
  - P_1 = A(); o.N(); o.W(); C(); E(); o.N();
    P_2 = o.W(); B(); o.N(); D(); o.W(); F();
  - non : on peut avoir ABCEDF (exercice)
- et celle-ci ?
  - P_1 = A(); o.N(); o.W(); C(); o.W(); E(); o.N();
    P_2 = o.W(); B(); o.N(); D(); o.N(); o.W(); F();
  - non : on peut avoir A<blocage> (exercice)

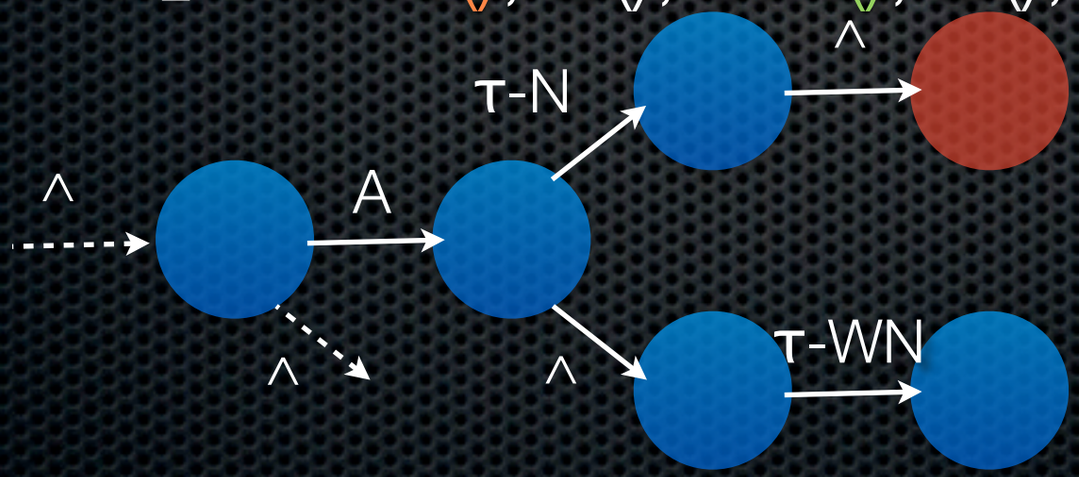
Solution des 2 processus ?

- P_1 = A(); o.N(); o.W(); C(); E(); o.N();
  P_2 = o.W(); B(); o.N(); D(); o.W(); F();



(partie du modèle démontrant le problème)

- P_1 = A(); o.N(); o.W(); C(); o.W(); E(); o.N();
  P_2 = o.W(); B(); o.N(); D(); o.N(); o.W(); F();



(partie du modèle démontrant le problème)

Solution des 2 processus ?

P_1 = A(); o.N(); o.W(); C(); o.W(); E(); o.N();
P_2 = o.W(); B(); o.N(); D(); o.N(); o.W(); F();

```
class Controller {
    public Controller() {}
    //
    public synchronized notify() {
        notify();
    }
    ... // pareil pour B, D et E
    //
    public synchronized wait() {
            try { wait(); }
            catch (InterruptedException e) {}
    }
}

main (...) {
    Controller c = new Controller();
    P1 p1 = new P1(c); P2 p2 = new P2(c);
    p1.start(); p2.start();
}
```

```
class P1 extends Thread {
    Controller c;
    public P1(Controller cx) { c=cx; }
    public void A(...) { ... }
    ... // definitions de C et E
    //
    public void run() {
        yield();
        A(...); c.notify();
        c.wait(); C(...);
        c.wait(); E(...); c.notify();
    }
}

class P2 extends Thread {
    Controller c;
    public P1(Controller cx) { c=cx; }
    public void A(...) { ... }
    ... // definition de D et F
    //
    public void run() {
        c.wait(); B(); c.notify();
        D(); yield(); c.notify();
        c.wait(); F();
    }
}
```

Sémaphore en Java

- principe :
  - section critique (SC)
    besoin d'exclusion mutuelle
  - un jeton
    celui qui l'a peut entrer en SC
    les autres bloquent
- implantation de haut niveau de P(.)
  et V(.) sur une variable partagée,
  ici le jeton (ou sémaphore)

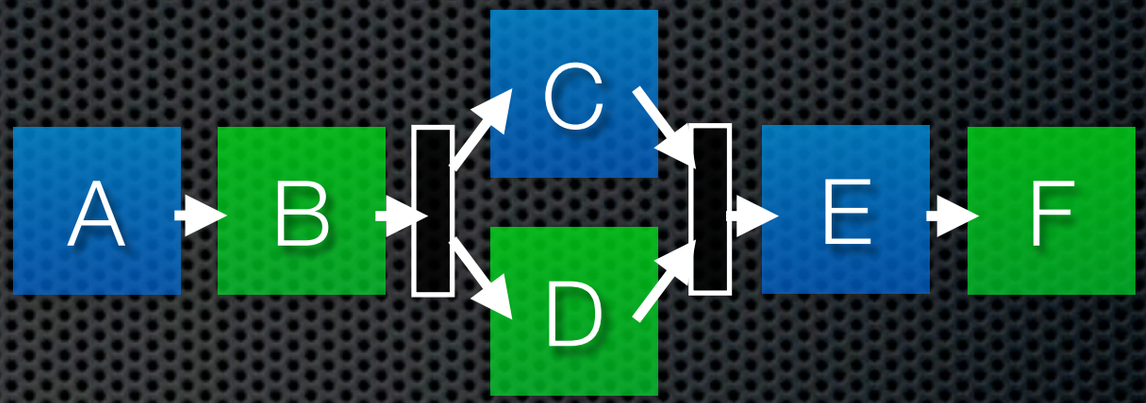
```
public class Semaphore {
    int n; // jeton

    public Semaphore() { n=1; }

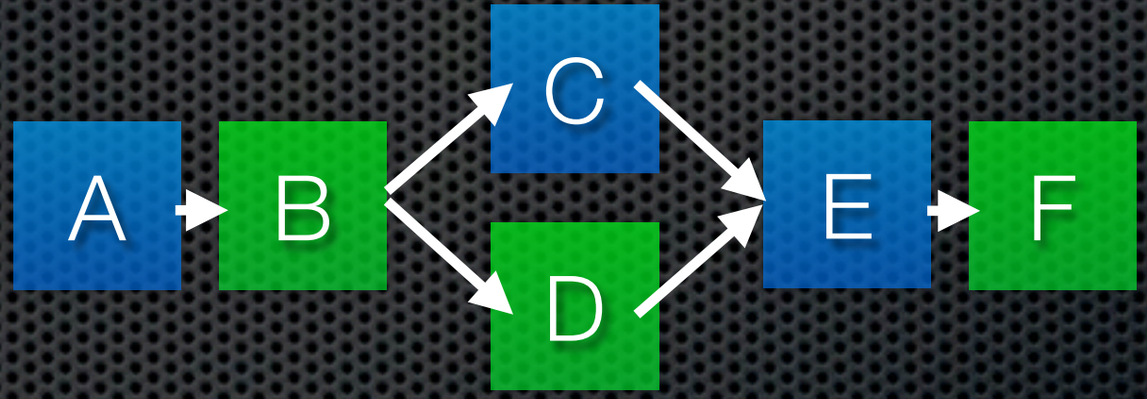
    public synchronized void P() {
      if (n == 0) {
        try {
          wait();
        } catch(InterruptedException ex) {};
      }
      n--;
      System.out.println("P(jeton)");
    }

  public synchronized void V() {
      n=1;
      System.out.println("V(jeton)");
      notify();
  }
}
```

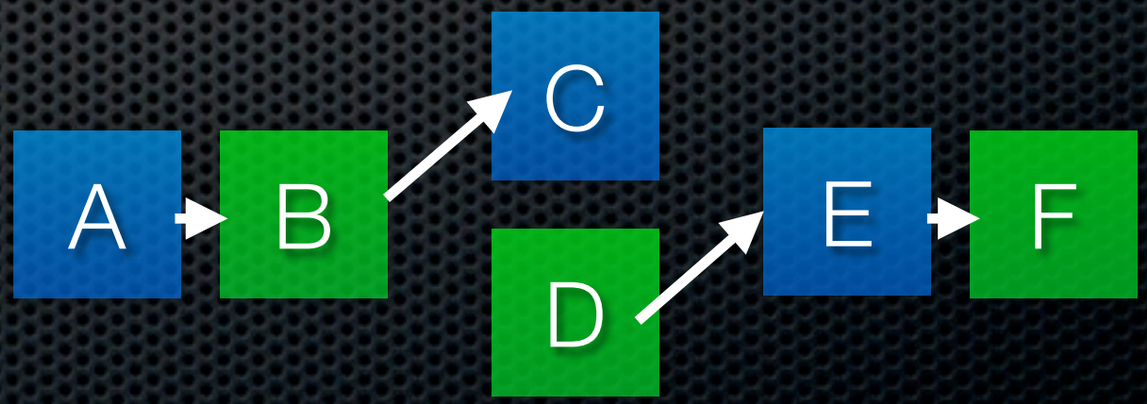
Solution des 2 processus (1/3)



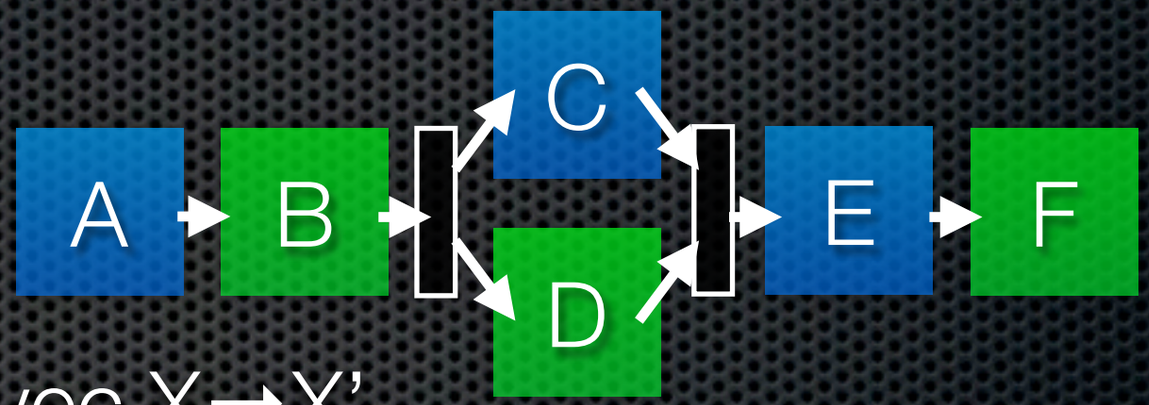
- définissons la structure causale du workflow



- on peut simplifier en raison des ordres locaux



Solution des 2 processus (2/3)

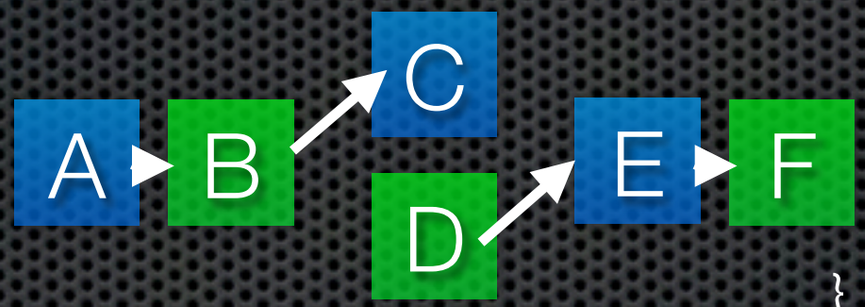


- pour chaque X tq il existe X' avec X→X',
  on définit un couple de méthodes de contrôle :
  - doneX() { isDoneX := true ; notify(); }
  - waitX() {if (! isDoneX) { try { wait(); } catch (...) {} }
- pour chaque processus P,
  pour chaque action Y de P tq X→Y (X action de P')
  … c.waitX(); Y(); c.doneY(); ...
- c objet contrôleur, référencé dans P et P'

Solution des 2 processus (3/3)

```
class Controller {
    bool isDoneA, isDoneB, isDoneD, isDoneE;
    public Controller() {
        isDoneA=false; isDoneB=false;
        isDoneD=false; isDoneE=false;
    }
    //
    public synchronized waitA() {
        isDoneA=true;
        notify();
    }
    ... // pareil pour B, D et E
    //
    public synchronized doneA() {
        if (! isDoneA) {
            try { wait(); }
            catch (InterruptedException e) {}
    }
    .... // pareil pour B, D et E
}

main (...) {
    Controller c = new Controller();
    P1 p1 = new P1(c); P2 p2 = new P2(c);
    p1.start(); p2.start();
}
```




```
class P1 extends Thread {
    Controller c;
    public P1(Controller cx) { c=cx; }
    public void A(...) { ... }
    ... // definitions de C et E
    //
    public void run() {
        A(...); c.doneA();
        c.waitB(); C(...);
        c.waitD(); E(...); c.doneE();
    }
}

class P2 extends Thread {
    Controller c;
    public P1(Controller cx) { c=cx; }
    public void A(...) { ... }
    ... // definition de D et F
    //
    public void run() {
        c.waitA(); B(); c.doneB();
        D(); c.doneD();
        c.wait(); F();
    }
}
```

Solution ? vraiment ?

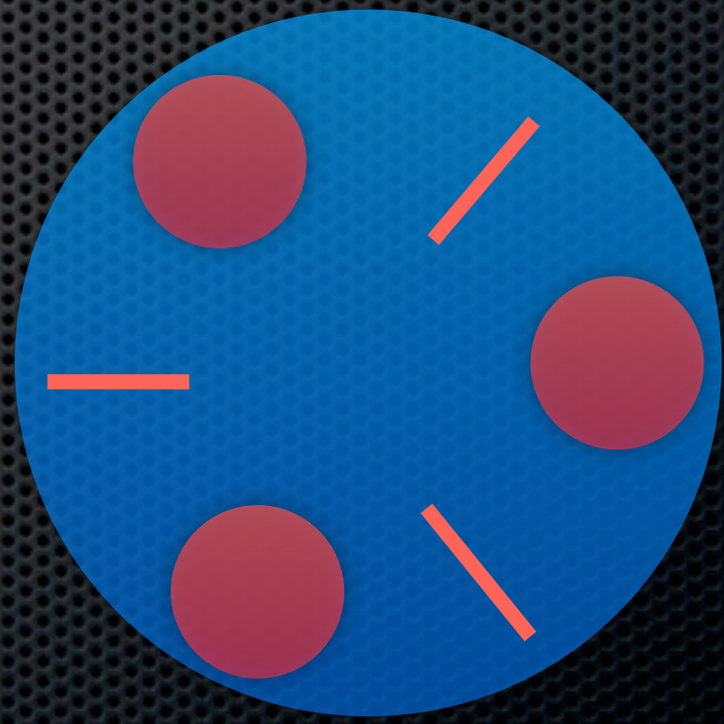
- on peut reprendre l'idée de base de la vérification avec 2 processus et 1 verrou mais remarques :
  - les wait() sont faits conditionnellement p/r à une variable et avant notify() on modifie la valeur de la variable concernée
  - les synchronized nous simplifient le travail (atomicité test-wait et set-notify)
- modifications nécessaires :
  - prendre en compte un certain nombre de variables (les isDonexx) dans l'état global, dans [|Px|] et dans [| P1 || P2 |]
- exercice : proposer une technique pour vérifier la solution

Remarque

- ici le cas est simple : 2 processus
- dans le cas général, quand on se fait réveiller on n'est pas forcément sur que l'objet est dans l'état qui nous arrange
- pour chaque X tq il existe X' avec X→X',
  on définit un couple de méthodes de contrôle :
  - doneX() { isDoneX := true ; notifyAll(); }
  - waitX() {while (! isDoneX) { try { wait(); } catch (...) {} }
- pour chaque processus P,
  pour chaque action Y de P tq $\{X_1,\ldots,X_n\}\rightarrow Y$
  … $c.waitX_1$(); ...; $c.waitX_n$(); Y(); c.doneY(); ...

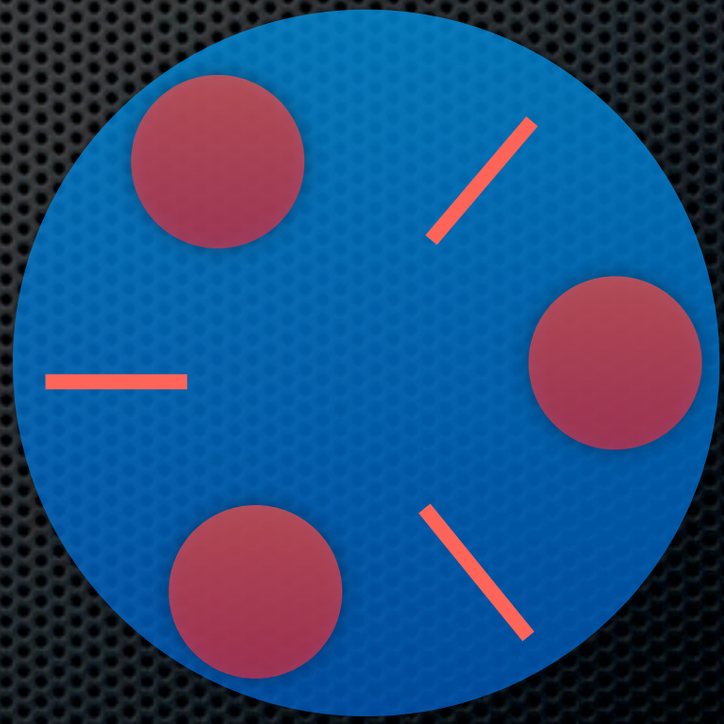
Un classique ! (les philosophes)

- principe :
  - n philosophes (P_1,...,P_n)
  - table ronde, un fourchette entre chaque philosophe
- algorithme d'un philosophe :
  - prendre f. gauche puis droite
  - manger
  - rendre f. gauche puis droite



Un classique ! (les philosophes)

- exercice :
  - utilisez les sémaphores pour programmer le diner de trois philosophes : Platon, Descartes et Spinoza
  - un philosophe a un nom ainsi que les deux fourchettes qui l'entourent
  - chaque fourchette est un sémaphore (jeton)



Philosophes : la solution ?

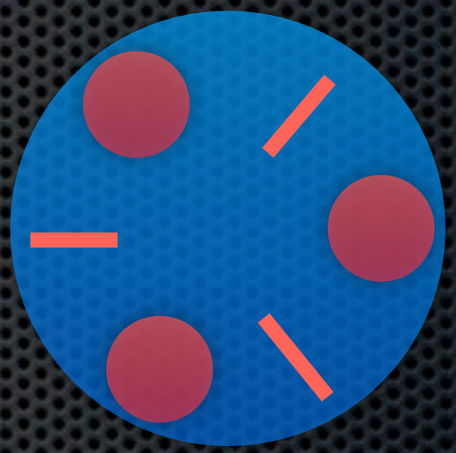
```
public class Fork {
    int n;
    String name;
    public Fork(String x) { n=1; name=x;  }
    public synchronized void P( ) {
        if (n == 0) {
            try {
                wait();
            } catch(InterruptedException ex) {};
        }
        n--;
        System.out.println("P("+name+")");
    }
    public synchronized void V() {
        n=1;
        System.out.println("V("+name+")");
        notify();
    }
}

public static void main(...) {
  Fork a = new Fork("a"); Forkb = new Fork("b");
  Fork c = new Fork("c");
  Phil Phil1 = new Phil(a,b); Phil Phil2 = new Phil(b,c);
  Phil Phil3 = new Phil(c,a);
  Phil1.setName("Spinoza"); Phil2.setName("Descartes");
  Phil3.setName("Platon");
  Phil1.start();  Phil2.start(); Phil3.start();
}
```

```
public class Phil extends Thread {
    Fork LeftFork;
    Fork RightFork;
    String name;
    public Phil(Fork l, Fork r) {
        LeftFork = l;  RightFork = r;
    }
    public void setName(String n) {
        name = n;
    }
    public void run() {
        try {
            Thread.currentThread().sleep(100);
            LeftFork.P();
            Thread.currentThread().sleep(100);
            RightFork.P();
            Thread.currentThread().sleep(100);
            LeftFork.V();
            Thread.currentThread().sleep(100);
            RightFork.V();
            Thread.currentThread().sleep(100);
        } catch (InterruptedException e) {};
    }
}
```

Les philosophes : le problème

- intuition : si chaque philosophe prend sa fourchette gauche, tout le monde est bloqué (sur wait)



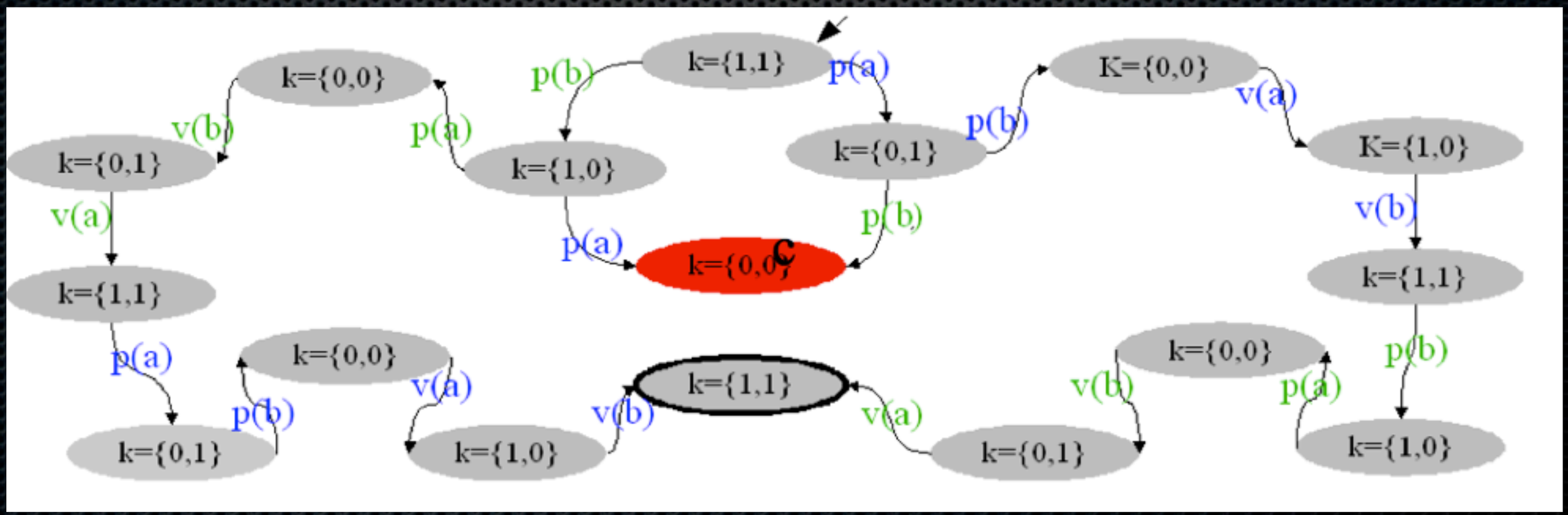
- notions de blocages - le système n'avance pas vers la terminaison car :
  - blocage mort (deadlock)
    aucune action possible
  - blocage vivant (livelock)
    suites d'actions possibles ramènenant à un état déjà parcouru (existance de cycles) [version forte ou faible]

détecter avec le modèle sémantique

Les philosophes : le problème

- utilisons notre modèle (sur un cas simple)
- P_1 = P(a); P(b); V(a); V(b);
  P_2 = P(b); P(a); V(b); V(a);
- cas de parallélisme/entrelacement, $P_1 \,||\, P_2$
  (on représente juste k)

détecter avec le modèle sémantique

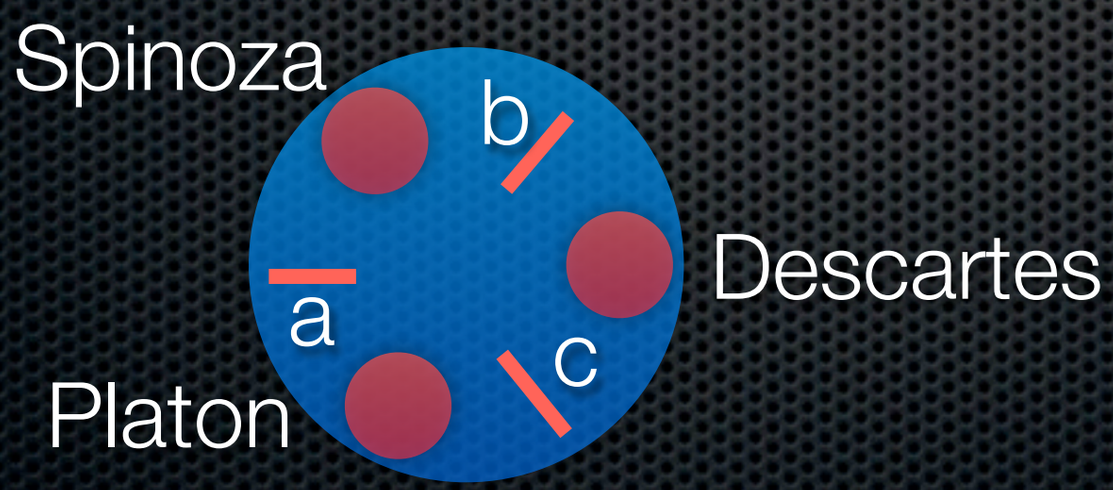


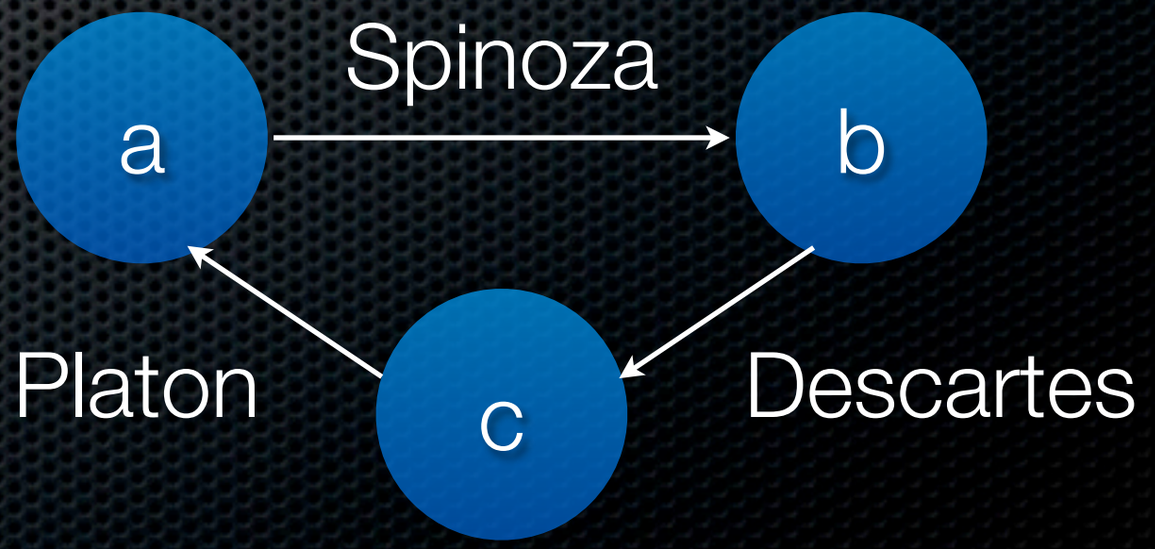
Conditions au blocage mort

- Coffman, Elphick et Shoshani (1971) ont identifié quatre conditions nécessaires et suffisantes pour qu'apparaissent des problèmes de deadlock :
  - partage de ressource utilisée sous une exclusion mutuelle
  - acquisition incrémentale de ressource
    ressource demandée avant d'en libérer une autre
  - non-préemption de ressource
    pas de temps limite à l'acquisition d'une ressource
  - circuit dans la dépendance des ressources entre processus

Compléments sur le blocage

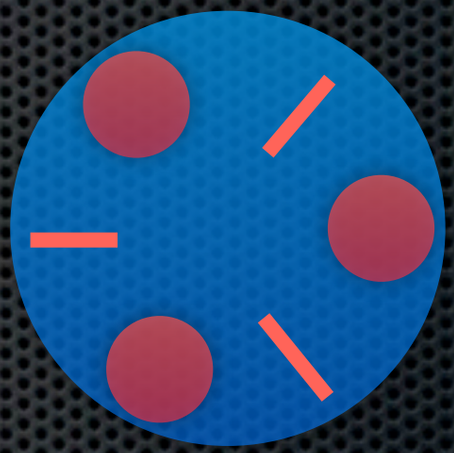
- le problème de blocage vient d'un ensemble de besoins ordonnés localement et circulaires globalement
- graphe des requêtes sur les ressources
  - un noeud par ressource
  - arc n->m ssi il existe un processus qui, ayant acquis le verrou sur n, demande sans l'avoir relâché un verrou sur m





Les philosophes : la solution

- comment corriger l'application sachant qu'on désire garder la symétrie de l'algorithme (propriété désirée facilitant l'analyse) ?



- garder le même algorithme, jouer sur la position :
  - paire : prendre gauche puis droite
  - impaire : prendre droite puis gauche
- exercice : donnez le graphe de requête et preuve de non blocage

Producteur-Consommateur

- autre exemple classique
- zone tampon Z de taille finie (n)
- le producteur produit une donnée et la met dans Z
  le consommateur prend une donnée dans Z et la consomme
- contraintes :
  ne pas lire et écrire en même temps
  ne pas écrire si Z plein
  ne pas lire si Z vide
- utilisation d'un sémaphore à compteur

Sémaphore à compteur

```
public class Semaphore {
    int n;
    int max;

    public Semaphore(int nb) {
        max=nb;
        n = max;
    }

    public synchronized void P() {
        if (n == 0) {
            try {
                wait();
            } catch(InterruptedException ex) {};
        }
        n--;
        System.out.println("P(''+max-n+''ieme)");
    }

    public synchronized void V( ) {
        if(n<max) {
            n++
            System.out.println("V("+n+"iemme)");
            notify();
        }
    }
}
```

Producteur-Consommateur

- exercice :
  - utilisez les sémaphores à compteur pour implanter le système producteur-consommateur
  - le producteur produit 10x plus vite que le consommateur ne consomme
  - écrivez le code du producteur, celui du consommateur, et une main

Producteur-Consommateur

```
public class Consumer extends Thread {
    Tampon zone;
    public Consumer(Tampon t) { zone=t; }

    public void run() {
        while (true) {
            zone.consomme();
            try { this.sleep(5000); }
            catch (InterruptedException e) {};
        }
    }
}
```

```
public class Producer extends Thread {
    Tampon zone;
    public Produced(Tampon t) { zone=t; }

    public void run() {
        int i = 0;
        while (true) {
            zone.produit(«message »+i);
            try { this.sleep(500); }
            catch (InterruptedException e) {};
            i++;
        }
    }
}

public static void main (...) {
    Tampon t = new Tampon(5);
    Producer p = new Producer(t);
    Consumer c = new Consumer(t);
    p.start(); c.start(); }
```

```
public class Tampon {
    int taille; int free=0; int n; int next=0;
    Object [] values ;
    public Tampon(int max) {
      n = max; taille=max; values=new Object[n]; }
    public synchronized void produit(Object b) {
        if (n == 0) {
            try { wait(); }
            catch (InterruptedException ex) {};
        }
        values[free]=b; free=(free+1)%taille;
        n--; System.out.println("P("+b+")");
        notify();
    }
    public synchronized Object consomme() {
        if (n == taille) {
            try { wait(); }
            catch (InterruptedException ex) {};
        }
        object o = values[next]; next=(next+1)%taille;
        n++; System.out.println("P("+o+")");
        notify(); return o;
    }
}
```

Communication entre threads

- utilisation de
  - PipedInputStream, PipedOutputStream
  - PipedReader, PipedWriter
- avantage : communication entre threads sans se préoccuper de leur synchronisation (quand variable(s) partagées)
- application : producteur-consommateur (à nouveau, mais un peu plus évolué)

Communication entre threads

- java.lang.PipedInputStream
  - PipedInputStream()
    nouveau flux d'entrée (non connecté)
  - connect(PipedOutputStream out)
    connexion à un flux de sortie out pour la lecture de données
  - PipedInputStream(PipedOutputStream out)
    nouveau flux d'entrée connecté à out

Communication entre threads

- java.lang.PipedOutputStream
  - PipedInputStream()
    nouveau flux de sortie (non connecté)
  - connect(PipedInputStream in)
    connexion à un flux d'entrée in pour l'écriture de données
  - PipedOutputStream(PipedInputStream in)
    nouveau flux de sortie connecté à in

Communication entre threads

- architecture (nous verrons les ADL plus tard)
  - trois «composants»
    - le producteur génère des nombres
    - le filtre calcule la moyenne
    - le consommateur affiche les moyennes (si delta > eps.)
  - deux «connecteurs» : pipe (style «pipe-and-filter»)

Communication entre threads

```
class Producer extends Thread {
    private DataOutputStream out;
    private Random rand = new Random();
    public Producer(OutputStream os) {
        out = new DataOutputStream(os); }

    public void run() {
        while (true) {
            try {
              double num = rand.nextDouble();
              out.writeDouble(num);
              out.flush();
              sleep(Math.abs(rand.nextInt()%1000));
            }
            catch(Exception e) {
              System.out.println("Error: " + e); }
        }
    }
}
```

```
class Consumer extends Thread {
    private double oldx = 0;
    private DataInputStream in;
    private static final double EPS = 0.01;
    public Consumer(InputStream is) {
        in = new DataInputStream(is); }

    public void run() {
        for(;;) {
          try {
            double x = in.readDouble();
            if (Math.abs(x - oldx) > EPS) {
              System.out.println(x);
              oldx = x;
            }
          }
          catch(IOException e) {
            System.out.println("Error: " + e); }
        }
    }
}
```

Communication entre threads

```
class Filter extends Thread {
  private DataInputStream in;
  private DataOutputStream out;
  private double total = 0;
  private int count = 0;

  public Filter(InputStream is, OutputStream os) {
    in = new DataInputStream(is);
    out = new DataOutputStream(os);
  }

  public void run() {
    for (;;) {
      try {
        double x = in.readDouble();
        total += x; count++;
        if (count!=0) out.writeDouble(total/count);
      }
      catch(IOException e) {
        System.out.println("Error: " + e);
      }
    }
  }
}
```

```
import java.util.*;
import java.io.*;

public class PipeTest {
  public static void main(String args[]) {
    try {
      PipedOutputStream pout1 = \
        new PipedOutputStream();
      PipedInputStream pin1 = \
        new PipedInputStream(pout1);
      PipedOutputStream pout2 = \
        new PipedOutputStream();
      PipedInputStream pin2 = \
        new PipedInputStream(pout2);

      Producer prod = new Producer(pout1);
      Filter filt = new Filter(pin1, pout2);
      Consumer cons = new Consumer(pin2);

      prod.start(); filt.start(); cons.start();
    }
    catch (IOException e){}
  }
}
```