La programmation concurrente en Java

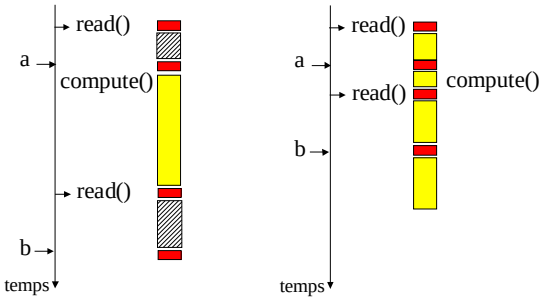
- À quoi ça sert?
  - Quelques exemples typiques.
- Quels moyens pour y parvenir?
  - La gestion de la concurrence peut être réalisée au niveau du système ou au niveau de la machine virtuelle.
- Les classes Java qui s'y rapportent.
  - Principalement **`Thread`** et **`Runnable`**
- Mise en oeuvre et problèmes spécifiques.
  - Exclusion mutuelle, synchronisation, etc.

À quoi ça sert?

- Permettre d'effectuer plusieurs traitements, spécifiés distinctement les uns des autres, « en même temps ».
- En général, dans la spécification d'un traitement, beaucoup de temps est passé à « attendre ».
  - Idée: exploiter ces temps d'attente pour réaliser d'autres traitements, en exécutant en concurrence plusieurs traitements.
  - Sur mono-processeur, simulation de parallélisme.
  - Peut simplifier l'écriture de certains programmes.

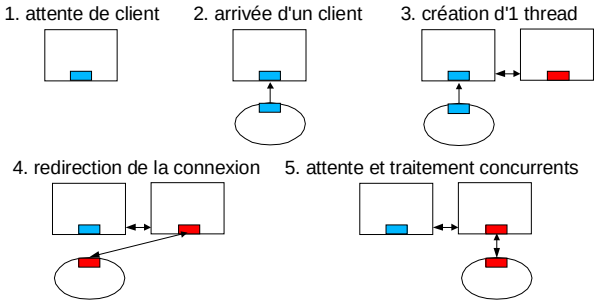
Un exemple: calculs et interactions

- Le temps d'attente d'une donnée utilisateur peut être exploité pour le calcul.



Autre exemple: client / serveur

- L'attente d'un nouveau client peut se faire « en même temps » que le service au client déjà là.



Les moyens dont on dispose

- Processus du système sous-jacent
  - Déléguer la gestion de la concurrence au système
  - Assez lent, peu de mécanismes de contrôle
  - Classes **`Process`** et **`Runtime`**
- Processus légers, gérés par la machine virtuelle
  - Permet un contrôle plus fin
  - Facilite la communication entre processus légers
  - Classe **`Thread`**, qui représente un fil d'exécution
  - Classe **`Runnable`**, qui représente le code à exécuter

Les processus: commandes du système d'exploitation

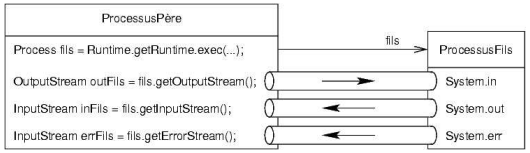
- **`java.lang.Runtime`**
  - Objet de contrôle de l'environnement d'exécution. L'objet courant peut être obtenu par la méthode statique **`Runtime.getRuntime()`**
  - D'autres méthodes: **`totalMemory(), freeMemory(), gc(), exit(), halt()...`**
  - **`exec()`** crée un nouveau processus.
- **`java.lang.Process`**
  - Objets de contrôle d'un processus, ou commande.
  - **`Runtime.getRuntime().exec("cmd")`** crée un nouveau processus et retourne un objet de cette classe.

La classe `Runtime`

- Différentes méthodes exec() : Elles créent un processus natif.
  - La plus simple:
    Runtime.getRuntime().exec("javac MonProg.java");
  - Avec un tableau d'arguments
    Runtime.getRuntime()
    .exec(new String[]{"javac", "MonProg.java"});
  - Exécute la commande cmd dans le répertoire /tmp avec comme variable d'environnement var la valeur val.
    Runtime.getRuntime().exec("cmd",
    new String[] {"var=val"},
    new File("/tmp/"));

La classe `Process`

- Retourné par les méthodes exec() de Runtime
  - Process fils= Runtime.getRuntime().exec("commande");
    fils.waitFor(); // attend la terminaison du processus fils
    System.out.println(fils.exitValue());
  - Toutes les méthodes sont abstraites:
    - destroy(), getInputStream(), getOutputStream(), getErrorStream()
    - Nécessité de lire les flots de sortie et d'écire sur les flots d'entrée



Les processus légers (threads): « processus » internes à la JVM

- Étant donnée une exécution de Java (une JVM)
  - un seul processus (au sens système d'exploitation)
  - disposer de multiples fils d'exécution (threads) internes
  - possibilités de contrôle plus fin (priorité, interruption...)
  - c'est la JVM qui assure l'ordonnancement (concurrence)
  - espace mémoire commun entre les différents threads
- Deux instructions d'un même processus léger doivent respecter leur séquencement.
- Deux instructions de deux processus légers distincts n'ont pas d'ordre d'exécution à respecter.

En temps normal

- Lorsque est exécuté la commande `% java Prog`
  - La JVM démarre plusieurs threads, dont, par exemple:
    - "Signal Dispatcher", "Finalizer", "Reference Handler", etc.
    - et surtout la thread "main".
    - on peut avoir ces informations en envoyant un signal QUIT au programme (Ctrl-\ sous Unix ou Ctrl-Pause sous Windows).
  - La thread "main" est chargée d'exécuter le code de la méthode main().
  - Ce code peut demander la création d'autres threads.
  - Les autres threads servent à la gestion de la JVM (ramasse-miettes, etc).

Exemple

- Programme simple (boucle infinie dans le main())
  - Taper Crtl-\ produit l'affichage suivant (extrait):
- Full thread dump Java HotSpot(TM) Client VM (1.4.1-b21 mixed mode):

```
"Signal Dispatcher" daemon prio=1 tid=0x808c818 nid=0x33e ...
"Finalizer" daemon prio=1 tid=0x8086290 nid=0x33b ...
"Reference Handler" daemon prio=1 tid=0x80856d0 nid=0x33a in ...
"main" prio=1 tid=0x8051a20 nid=0x337 runnable [bfffd000..bfffd674]
        at Point.main(Point.java:13)
"VM Thread" prio=1 tid=0x8082518 nid=0x339 runnable
"VM Periodic Task Thread" prio=1 tid=0x808b470 nid=0x33c waiting...
"Suspend Checker Thread" prio=1 tid=0x808be38 nid=0x33d runnable
```


La classe `java.lang.Thread`

- Chaque instance de la classe Thread possède:
  - un nom, [get/set]Name(), identifiant
  - une priorité, [get/set]Priority(),
    - les threads de priorité plus haute sont exécutées plus souvent
    - trois constantes prédéfinies: [MIN/NORM/MAX]_PRIORITY
  - un statut *daemon* (booléen), [is/set]Daemon()
  - un groupe, de classe ThreadGroup, getThreadGroup()
    - par défaut, même groupe que la thread qui l'a créée
  - une cible, représentant le code que doit exécuter ce processus léger. Ce code est décrit par la méthode
    public void run() {...}

Threads et JVM

- La Machine Virtuelle Java continue à exécuter des threads jusqu'à ce que:
  - soit la méthode exit() de la classe Runtime soit appelée
  - soit toutes les threads non marquées "*daemon*" soient terminées.
    - on peut savoir si une thread est terminée via la méthode isAlive()
- Avant d'être exécutées, les threads doivent être créés: Thread t = new Thread(...);
- Au démarrage de la thread, par t.start();
  - la JVM réserve et affecte l'espace mémoire nécessaire avant d'appeler la méthode run() de la cible.

La thread courrante

```
public class ThreadExample {
  public static void main(String[] args)
    throws InterruptedException {
    // Affiche les caractéristiques du processus léger courant
    Thread t = Thread.currentThread();
    System.out.println(t);
    // Donne un nouveau nom au processus léger
    t.setName("Médor");
    System.out.println(t);
    // Rend le processus léger courant
    // inactif pendant 1 seconde
    Thread.sleep(1000);
    System.out.println("fin");
} }
```

```
% java ThreadExample
Thread[main,5,main]
Thread[Médor,5,main]
fin
%
```

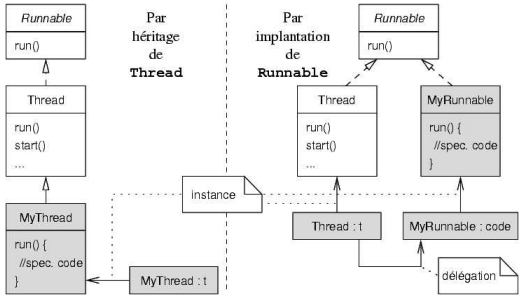
nom priorité groupe

Deux façons de spécifier le code à exécuter pour un processus léger

- Redéfinir la méthode run() de la classe Thread
  - class MyThread extends Thread {
    public void run() { // code à exécuter } ...
    }
  - Création et démarrage de la thread comme ceci:
    MyThread t = new MyThread(); puis t.start();
- Implanter l'interface Runnable
  - class MyRunnable implements Runnable {
    public void run() { // code à exécuter } ...
    }
  - Création et démarrage de la thread via un objet cible:
    MyRunnable cible = new MyRunnable(); // objet cible
    Thread t = new Thread(cible); puis t.start();

Comparaison des deux approches

- pas d'héritage multiple en Java: hériter d'une autre classe?
- un même objet Runnable exécuté par plusieurs threads?



Par héritage de Thread

```
public class MyThread extends Thread {
  public void run() {
   for (int i=0; i<5; i++) {
    System.out
      .println("MyThread, en " + i);
    try {Thread.sleep(500); }
    catch (InterruptedException ie) {
     ie.printStackTrace();
    }
   }
   System.out
    .println("MyThread se termine");
 }
}
```

```
public class Prog1 {
 public static void main(String[] args)
   throws InterruptedException {
  Thread t = new MyThread();
  t.start();
  for (int i=0; i<5; i++) {
   System.out.println("Initial, en " + i);
   Thread.sleep(300);
  }
  System.out.println("Initial se termine");
 }
}
```

```
% java Prog1
Initial, en 0
MyThread, en 0
Initial, en 1
MyThread, en 1
Initial, en 2
Initial, en 3
MyThread, en 2
Initial, en 4
MyThread, en 3
Initial se termine
MyThread, en 4
MyThread se termine
```


Par implantation de Runnable

```
public class MyRunnable implements Runnable {
 public void run () {
  for (int i=0; i<5; i++) {
   System.out.println("MyRunnable, en " + i);
   try { Thread.sleep(500); }
   catch (InterruptedException ie) {
   ie.printStackTrace();
   }
  }
  System.out
   .println("MyRunnable se termine");
 }
}
```

```
public class Prog2 {
 public static void main(String[] args)
   throws InterruptedException {
  MyRunnable cible = new MyRunnable();
  Thread t = new Thread(cible);
  t.start();
  for (int i=0; i<5; i++) {
   System.out.println("Initial, en " + i);
   Thread.sleep(300);
  }
  System.out.println("Initial se termine");
 }
}
```

```
% java Prog2
Initial, en 0
MyRunnable, en 0
Initial, en 1
MyRunnable, en 1
Initial, en 2
Initial, en 3
MyRunnable, en 2
Initial, en 4
MyRunnable, en 3
Initial se termine
MyRunnable, en 4
MyRunnable se termine
```


Thread et objet de contrôle

- À la fin de l'exécution de la méthode run() de la cible, le processus léger est terminé (mort):
  - il n'est plus présent dans la JVM (en tant que thread)
  - mais l'objet contrôleur (de classe Thread) existe encore
  - la méthode isAlive() retourne false
  - il n'est pas possible d'en reprendre l'exécution
  - l'objet contrôleur sera récupéré par le ramasse-miettes
- L'objet représentant la thread actuellement exécutée par la JVM est retourné par la méthode statique Thread.currentThread()

Cycle de vie d'un processus léger

- Création de l'objet contrôleur: t = new Thread(...)
- Allocation des ressources: t.start()
- Début d'exécution de run()
  - [éventuelles] suspensions temp. d'exéc: Thread.sleep()
  - [éventuelles] pauses (laisse la main): Thread.yield()
  - peut disposer du processeur et s'exécuter
  - peut attendre le proc. ou une ressource pour s'exécuter
- Fin d'exécution de run()
- Ramasse-miettes

Arrêt d'un processus léger

- Les méthodes stop(), suspend(), resume() sont dépréciées
  - Risquent de laisser le programme dans un « sale » état !
- La méthode destroy() n'est pas implantée
  - Spec. trop brutale: l'oublier
- Terminer de manière douce...
- Une thread se termine normalement lorsqu'elle a terminé d'exécuter sa méthode run()
  - obliger proprement à terminer cette méthode

Interrompre une thread

- La méthode interrupt() appelée sur une thread t
  - Positionne un « statut d'interruption »
  - Si t est en attente parce qu'elle exécute un wait(), un join() ou un sleep(), alors ce statut est réinitialisé et la thread reçoit une InterruptedException
  - Si t est en attente I/O sur un canal interruptible, alors ce canal est fermé, le statut reste positionné et la thread reçoit une ClosedByInterruptException
- Le statut d'interruption ne peut être consulté que de deux manières, par des méthodes (pas de champ)

.../...

Consulter le statut d'interruption

- public static boolean interrupted()
  - retourne true si le statut de la thread actuellement exécutée était positionné (méthode statique)
  - si tel est le cas, réinitialise ce statut à false
- public boolean isInterrupted()
  - retourne true si le statut de la thread sur laquelle est appelée la méthode a été positionné (méthode d'instance, non statique)
  - ne modifie pas la valeur du statut d'interruption

Exemple interrupt (1)

```
import java.io.*;
public class InterruptionExample implements Runnable {
  private int id;
  public InterruptionExample(int id) {
    this.id = id;
  }
  public void run() {
   int i = 0;
    while (!Thread.interrupted()) {
      System.out.println(i + "ième exécution de " + id);
      i++;
    }
    System.out.println("Fin d'exécution du code " + id);
    // L'appel à interrupted() a réinitialisé le statut d'interruption
    System.out.println(Thread.currentThread().isInterrupted()); // Affiche: false
  }
}
```

Exemple interrupt (2)

```
public static void main(String[] args) throws IOException {
  Thread t1 = new Thread(new InterruptionExample(1));
  Thread t2 = new Thread(new InterruptionExample(2));
   t1.start();
   t2.start();
   // Lecture du numéro du processus léger à interrompre
   BufferedReader br =
     new BufferedReader(new InputStreamReader(System.in));
   System.out.println("Taper le numéro de la thread à arrêter");
   switch (Integer.parseInt(br.readLine())) {
   case 1:
     t1.interrupt(); break;
   case 2:
     t2.interrupt(); break;
   }
}
```

```
% java InterruptionExample
1ième exécution de 1
2ième exécution de 1
...
1ème exécution de 2
2ième exécution de 2
...
                Tape 2
...
Fin d'exécution du code 2
false
7ième exécution de 1
8ième exécution de 1
9ième exécution de 1
10ième exécution de 1
11ième exécution de 1
12ième exécution de 1
...
```


Exemple interrupt (3)

- Objectif: ralentir l'affichage pour que chaque thread attende un temps aléatoire
  - Proposition: écrire une méthode tempo(), et l'appeler dans la boucle de la méthode run() :

```
while (!Thread.interrupted()) {
    System.out.println(i + "ième exécution de " + id);
    i++;
    tempo(); // pour ralentir les affichages
}
```


Exemple interrupt (4)

- La méthode tempo() :

```
public void tempo() {
  try {
    Thread.sleep(Math.round(10000 * Math.random()));
  } catch (InterruptedException ie) {
    // La levée de l'exception a réinitialisé le statut
    // d'interruption. Il faut donc réinterrompre le processus
    // léger courant pour repositionner le statut d'interruption.
    System.out.println(Thread.currentThread().isInterrupted());
    // Affiche: false
    Thread.currentThread().interrupt();
    System.out.println(Thread.currentThread().isInterrupted());
    // Affiche: true
  }
}
```

```
% java InterruptionExample
0ième exécution de 1
Taper le n° de la thread
0ième exécution de 2
1ième exécution de 2
1ième exécution de 1
2ième exécution de 2
2ième exécution de 1
3ième exécution de 2
3ième exécution de 1
          Tape 1
4ième exécution de 1
false
true
Fin d'exécution du code 1
false
4ième exécution de 2
5ième exécution de 2
6ième exécution de 2
7ième exécution de 2
```


L'accès au processeur

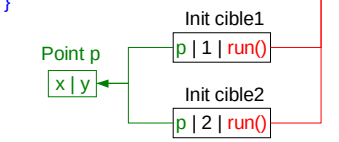
- Différents états possibles d'une thread
  - exécute son code cible (elle a accès au processeur)
  - attend l'accès au processeur (mais pourrait exécuter)
  - attend un événement particulier (pour pouvoir exécuter)
- L'exécution de la cible peut libérer le processeur
  - si elle exécute un yield() (demande explicite)
  - si elle exécute une méthode bloquante (sleep(), wait()...)
- Sinon, c'est l'ordonnanceur de la JVM qui répartit l'accès des threads au processeur.
  - utilisation des éventuelles priorités

Les problèmes de la concurrence

- Les instructions des différentes threads peuvent, *a priori*, être exécutées dans n'importe quel ordre.
- Un seul et même espace mémoire (de la JVM) pour toutes les threads
  - Nécessite de gérer les lectures/écritures pour assurer une cohérence des données.
  - interdire l'exécution de certaines threads pendant que l'une d'elles exécute une *portion critique.*
  - Nécessite de « synchroniser » différentes threads
- Tout cela peut provoquer des situations de famines ou d'inter-bloquage

Exemple

```
public class Point {
  int x;
  int y;
  public void change(int x, int y) {
    this.x = x;
    this.y = y;
  }
  public String toString() {
    return "("+x+","+y+")";
  }
}
```




```
public class Init implements Runnable {
  Point p;
  int val;
  public Init(Point p, int val) {
    this.p = p;
    this.val = val;
  }
  public void run() {
    for(;;) {
      p.change(val,val);
      System.out.println(p);
    }
  }
  public static void main(String[] args) {
    Point p = new Point();
    Init cible1 = new Init(p,1);
    Init cible2 = new Init(p,2);
    Thread t1 = new Thread(cible1);
    Thread t2 = new Thread(cible2);
    t1.start();
    t2.start();
  }
}
```

```
% java Init
(1,1)
...
(2,2)
...
(2,1)
...
(1,2)
...
```


Exclusion Mutuelle

- Écriture/lecture entrelacées provoquent des états incohérents de la mémoire
- Atomicité: Java garanti l'atomicité de l'accès et de l'affectation aux champs de tout type sauf double et long (64 bits).
- Impossible d'assurer qu'une thread ne « perdra » pas le processeur entre deux instructions atomiques.
- On ne peut « que » exclure mutuellement plusieurs threads, grâce à la notion de moniteur.

Les moniteurs

- N'importe quel objet (classe Object) peut jouer le rôle de moniteur.
  - Lorsqu'une thread « prend » le moniteur associé à un objet, plus aucune autre thread ne peut prendre ce moniteur.
  - Idée: protéger les portions de code « sensibles » de plusieurs threads par le même moniteur
    - Si la thread « perd » l'accès au processeur, elle ne perd pas le moniteur => une autre thread ayant besoin du même moniteur ne pourra pas exécuter le code que ce dernier protège.
  - Le mot-clef est **`synchronized`**

Protection de code

```
public class Point {
  int x;
  int y;
  public void change(int x, int y) {
    synchronized (this) {
      this.x = x;
      this.y = y;
    }
  }
  public String toString() {
    return "("+x+","+y+")";
  }
}
```

- synchronized (m) {
  // bloc protégé par le moniteur m
  }
- Si on protège toute une méthode avec le moniteur associé à this, on peut utiliser le modificateur synchronized (utiliser avec précaution):

```
public synchronized void change(int x, int y) {
    this.x = x;
    this.y = y;
}
```

- Dans notre exemple, cela suffit il?
- Attention à la taille des blocs de code protégés
  => peut pénaliser l'application

Liste récursive

- Imaginons une liste récursive avec une structure constante (seules les valeurs contenues peuvent changer)
- Imaginons plusieurs threads qui parcourent, consultent et modifient les valeurs d'une même liste récurisve
- On souhaite écrire une méthode calculant la somme des éléments de la liste.
- Seuls les accès aux valeurs requièrent une protection par un moniteur

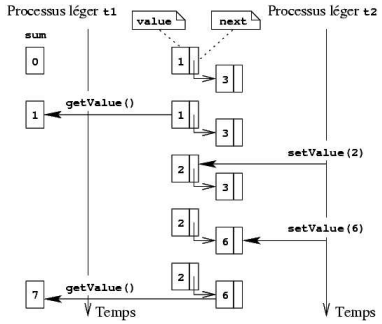
Implantation de RecList

```
public class RecList {
  private double value;
  private RecList next;
  public RecList(double value,
                 RecList next) {
    this.value = value;
    this.next = next;
  }
  public boolean contains(double x) {
    synchronized (this) {
      if (value==x)
        return true;
    }
    if (getNext()==null)
      return false;
    return getNext().contains(x);
  }
```

```
  public double sum() {
    double sum = getValue();
    if (getNext()!=null)
      sum += getNext().sum();
    return sum;
  }
  public synchronized void
                setValue(double value) {
    this.value = value;
  }
  public synchronized double getValue() {
    return value;
  }
  public RecList getNext() {
    return next;
  }
}
```


Problème

- La valeur retournée par la méthode sum() peut correspondre à une liste qui n'a jamais existé.



Solutions?

- Protéger la méthode sum() par un moniteur sur this
  - Le moniteur sur le premier maillon est pris et conservé jusqu'au retour de la fonction et chaque appel récursif reprend le moniteur sur le nouveau maillon.
  - n'empêche pas une modification en fin de liste entre le début et la fin du calcul de la somme.
  - PIRE: peut provoquer une situation d'inter-blocage
- Protéger les méthodes sur un seul et même moniteur partagé par tous les maillons d'une même liste.

Implantation (bis)

```
public class RecListBis {
 private double value;
 private RecListBis next;
 private Object monitor;
 public RecListBis(double value,
                   RecListBis next) {
  this.value = value;
  this.next = next;
  if (next==null)
    this.monitor = new Object();
  else this.monitor = next.monitor;
 }
 public void setValue(double value) {
  synchronized (monitor) { this.value = value; }
 }
 public double getValue() {
  synchronized (monitor) { return value; }
 }
```

```
  public double sum() {
  synchronized (monitor) {
    // Protection par ce moniteur
    // conservé récursivement
    // jusqu'à la fin du calcul de somme
    double sum = getValue();
    if (getNext()!=null)
     sum += getNext().sum();
    return sum;
  }
 }
 public boolean contains(double x) {
  synchronized (monitor) {
    if (value==x) return true;
  }
  if (getNext()==null) return false;
  return getNext().contains(x);
 }
 public RecListBis getNext() {
   return next;
 }
}
```


Protection en contexte statique

- Comment est protégée une méthode statique? Autrement dit, que signifie:
  - public class C {
    public static synchronized int m(...) {...}
    }
  - Le moniteur est l'objet classe (de type java.lang.Class) autrement dit, c'est équivalent à:
  - public class C {
    public static int m(...) {
    synchronized (Class.forName("C")) {...}
    }
    }

Synchronisation (rendez-vous)

- « Attendre » qu'un processus léger soit dans un état particulier.
  - Attendre qu'une thread t soit terminée: t.join(); accepte éventuellement une durée (en milli ou nano sec)
  - Attendre l'arrivée d'un événement particulier ou notifier l'arrivée de cet événement: wait(); et notify();
- o.wait(); exécuté par une thread donnée t1
  - requiert de détenir le moniteur o
  - suspend la thread courante t1 et libère le moniteur o
  - la thread suspendue attend (passivement) d'être réveillée par une notification sur ce même moniteur

wait() (suite)

- Lorsque t1 reçoit une notification associée à o, elle doit à nouveau acquérir le moniteur associé à o afin de poursuivre son exécution.
- wait() peut accepter un délai d'attente en argument
  - l'attente est alors bornée par ce délai,
  - passé ce délai, la thread peut reprendre son exécution mais doit auparavant reprendre le moniteur o.
- Si une autre thread interrompt l'attente: t1.interrupt();
  - une exception InterruptedException est levée par wait();
  - le statut d'interruption est réinitialisé par cette levée d'exception (il peut être nécessaire de le repositionner)

Notification

- Une notification peut être émise par une thread t2
  - par o.notify(): une seule thread en attente de notification sur o sera réveillée (choisie arbitrairement);
  - ou par o.notifyAll(): toutes les threads en attente de notification sur o seront réveillées (elles entrent alors en concurrence pour obtenir ce moniteur).
- L'exécution de o.notify() ou o.notifyAll() par t2
  - requiert que t2 détienne le moniteur associé à o
  - ne libère pas le moniteur (il faut attendre d'être sorti du bloc de code protégé par un « synchronized (o) {...} »)

Attente/Notification

- Utilise la notion de moniteur
  - si wait() ou notify() sans détenir le moniteur associé à o levée d'une exception IllegalThreadStateException
- Absence de tout ordonnancement connu
  - possibilité de « perdre » une notification
    - par ex. si elle a été émise par t2 avant que t1 soit mise en attente
  - possibilité d'être réveillé par une notification correspondant à un événement « consommé » par quelqu'un d'autre
  - assurer impérativement que l'événement est disponible !

Exemple typique

- Toujours faire les wait() dans une boucle
  - Après le réveil et la ré-acquisition du moniteur, cela assure que la condition requise est toujours valide!
    - en particulier, elle n'a pas été consommée par quelqu'un d'autre

```
// code des processus légers
// intéressés par les événements
synchronized (o) {
  while (ok==0) {
    o.wait();
  }
  ok--;
}
traitement();
```

```
// code du processus léger
// qui signale les événements
synchronized (o) {
  ok++;
  o.notify();
}
```

Les problèmes classiques

- Grâce aux mécanismes d'exclusion mutuelle et de attente/notification, on tente d'assurer que « rien de faux n'arrive ».
- Problème fréquent « rien n'arrive du tout »: c'est la notion de vivacité, qui se décline en
  - famine
    une thread pourrait s'exécuter mais n'en a jamais l'occasion
  - endormissement
    une thread est suspendue mais jamais réveillée
  - interbloquage
    plusieurs threads s'attendent mutuellement

Interbloquage

- Si on n'utilise pas les méthodes dépréciées (stop(), suspend(), resume()), le principal problème est l'interbloquage.

```
public class Deadlock {
  Object m1 = new Object();
  Object m2 = new Object();
  public void ping() {
    synchronized (m1) {
      synchronized (m2) {
        // Code synchronisé sur
        // les deux moniteurs
      }
    }
  }
  public void pong() {
    synchronized (m2) {
      synchronized (m1) {
        // Code synchronisé sur
        // les deux moniteurs
      }
    }
  }
}
```


Pour éviter les interbloquages

- Numéroter les événements à attendre
  - toujours les attendre dans le même ordre
- Plus de concurrence améliore la vivacité mais risque d'aller à l'encontre de la « sûreté » du code dont il faut relâcher la synchronisation
  - Ce qui est acceptable dans un contexte ne l'est pas forcément toujours (réutilisabilité du code?)
- Si concurrence trop restreinte on peut parfois « diviser pour régner »
  - tableau de moniteur plutôt que moniteur sur tableau?

Y a t il un problème?

```
public class Stack {
  LinkedList list = new LinkedList();
  public synchronized void push(Object o) {
    synchronized (list) {
      list.addLast(o);
      notify();
    }
  }
  public synchronized Object pop() throws InterruptedException {
    synchronized (list) {
      while (list.isEmpty())
        wait();
      return list.removeLast();
    }
  }
}
```

Oui! (en plus de la double synchronisation)

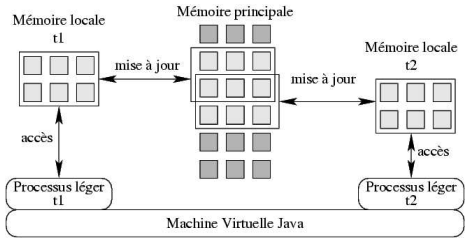
```
public class Stack {
  LinkedList list = new LinkedList();
  public synchronized void push(Object o) {
    synchronized (list) {  // Ici, le moniteur est list
      list.addLast(o);
      notify();            // Mais ici, c'est notify() sur this
    }
  }
  public synchronized Object pop() throws InterruptedException {
    synchronized (list) {  // Ici, le moniteur est list
      while (list.isEmpty())
        wait();            // Mais ici, c'est notify() sur this
      return list.removeLast();
    }
  }
}
```


Partage des données entre threads

- Chaque thread dispose d'une mémoire locale (cache) pour stocker les « copies de travail » des variables partagées
  - réduit le temps d'accès
  - crée « plusieurs versions » de la même variable
  - problèmes de cohérence et de mise à jour
  - notion de « visibilité », depuis les autres threads, des modifications effectuées par une thread donnée

Mises à jour des variables

- Cette mise à jour est forcée
  - à la prise et à la libération d'un moniteur (mot-clef « synchronized »)
  - lorsqu'une thread se termine (join())



Le mot-clef *volatile*

- Utilisé comme un modificateur de champ
  - assure la cohérence entre la mémoire de travail et la mémoire principale.
  - la mise à jour est forcée pour prendre en compte les dernières modifications.
  - assure l'atomicité de la lecture et de l'écriture, y compris des champs de type double et long.
  - attention: n'assure pas l'atomicité des opérations composites, y compris l'incrémentation ou la décrémentation. En particulier, les instructions composant ces opérations peuvent s'entrelacer entre plusieurs threads concurrentes.

Variables locales à une thread

- Si plusieurs threads exécutent le même objet cible (de type Runnable), on peut vouloir disposer de variables locales propres à chaque thread.
- ThreadLocal et InheritableThreadLocal permettent de simuler ce comportement
  - objet déclaré comme un champ dans l'objet Runnable
  - existence d'une valeur encapsulée (sous-type de Object) propre à chaque thread, accessible via les méthodes get() et set()

Exemple

```
public class CodeWithLocal implements Runnable {
  public ThreadLocal local = new ThreadLocal();
  public Object shared;
  public void run() {
    String name = Thread.currentThread().getName();
    local.set(new Long(Math.round(Math.random()*100)));
    System.out.println(name + ": locale: " + local.get());
    shared = new Long(Math.round(Math.random()*100));
    System.out.println(name + ": partagée: " + shared);
    try {
      Thread.sleep(1000);
    } catch (InterruptedException e) {
      Thread.currentThread().interrupt();
    }
    System.out.println(name + ": après attente, locale: " + local.get());
    System.out.println(name + ": après attente, partagée: " + shared);
  }
}
```


Exemple (suite)

```
public class ExecCodeWithLocal {
  public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    // Création d'un objet code exécutable (cible)
    CodeWithLocal code = new CodeWithLocal();
    // Création de deux processus légers ayant ce même objet pour cible
    Thread t1 = new Thread(code);
    Thread t2 = new Thread(code);
    // Démarrage des processus légers
    t1.start();
    t2.start();
    // Affichage des champs de l'objet cible, après la fin des
    // exécutions, depuis le processus léger initial
    t1.join();
    t2.join();
    System.out.println("Initial: locale: " + code.local.get());
    System.out.println("Initial: partagée:" + code.shared);
  }
}
```

```
% java ExecCodeWithLocal
Thread-1: locale: 96
Thread-1: partagée: 24
Thread-2: locale: 61
Thread-2: partagée: 10
Thread-1: après attente, locale: 96
Thread-1: après attente, partagée: 10
Thread-2: après attente, locale: 61
Thread-2: après attente, partagée: 10
Initial: locale: null
Initial: partagée:10
```


Transmission des variables locales

- La classe InheritableThreadLocal permet de transmettre une variable locale à une thread t1 à une thread t2 « fille », c'est-à-dire créée à partir de t1 (de la même façon qu'elle récupère sa priorité, son groupe, etc.).
  - initialisation des champs de classe InheritableThreadLocal de la thread « fille » à partir des valeurs des champs de la thread « mère », par un appel implicite à la méthode childValue() de la classe.
  - possibilité de redéfinir cette méthode dans une sous-classe de InheritableThreadLocal.

Les classes `java.util.Timer` et `java.util.TimerTask`

- Pour la planification de tâches régulières
  - A date fixée
  - A intervalle de temps fixé
- `TimerTask` implante l'interface `Runnable`
  - Sa méthode run() premet de spécifier le code à exécuter
  - Elle peut être appelée plusieurs fois par le Timer dans lequel elle est planifiée (≠ de Thread)
- Timer peut prendre en charge plusieurs tâches
  - Différentes méthodes schedule()

Exemple de TimerTask

```
import java.util.*;
public class DateTask extends TimerTask {
  String msg;
  public DateTask(String msg) {
    this.msg = msg;
  }
  public void run() {
  System.out.println(Thread.currentThread().getName()
              + " " + msg + ": " + new Date());
  }
}
```


Exemple de Timer

```
import java.util.*;
public class TimerExample {
 public static void main(String[] args) {
  Timer timer = new Timer();
  DateTask task0 = new DateTask("task0");
  DateTask task1 = new DateTask("task1");
  DateTask task2 = new DateTask("task2");
  Calendar cal = Calendar.getInstance();
  cal.set(Calendar.HOUR_OF_DAY,17);
  cal.set(Calendar.MINUTE,14);
  cal.set(Calendar.SECOND,0);
  Date givenDate = cal.getTime();
  //task0: dès maintenant, toutes les 5 secondes
  timer.schedule(task0, 0, 5000);
  //task1: départ dans 2 secondes, toutes les 3
secondes
  timer.schedule(task1, 2000, 3000);
  //task2: une seule fois à la date fixée
  timer.schedule(task2, givenDate);
  System.out.println(Thread.currentThread().getName()
                + " terminé!");}}
```


Résultat de l'exemple

```
% java TimerExample
main terminé!
Thread-0 task0: Thu Dec 11 17:13:54 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:13:56 CET 2003
Thread-0 task0: Thu Dec 11 17:13:59 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:13:59 CET 2003
Thread-0 task2: Thu Dec 11 17:14:00 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:14:02 CET 2003
Thread-0 task0: Thu Dec 11 17:14:04 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:14:05 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:14:08 CET 2003
Thread-0 task0: Thu Dec 11 17:14:09 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:14:11 CET 2003
Thread-0 task0: Thu Dec 11 17:14:14 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:14:14 CET 2003
Thread-0 task1: Thu Dec 11 17:14:17 CET 2003
...
```

Annulation des tâches et des timers

- On peut annuler un timer a tout moment
  - Méthode cancel() sur l'objet Timer
  - Annule toutes les planifications non encore débutées
  - Toute nouvelle tentative de planification lève une IllegalStateException
- On peut annuler une tâche planifiée dans un timer
  - Méthode cancel() sur l'objet TimerTask
  - Retourne true si cela évite au moins une exécution
  - Cette tâche ne pourra plus jamais être planifiée (ni par ce timer, ni par un autre)

Gestion des tâches

- Toutes les tâches planifiées dans un même timer sont exécutées dans une même processus léger
  - Si certaines tâches sont « longues », possibilité de « dérive »... les autres n'ont pas eu le temps de s'exécuter
    - Peut être gênant, par exemple, si décompte de temps...
- ScheduleAtFixedRate() permet de « rattraper » la dérive
  - Planification les exécutions à « taux fixe » w.r.t période
  - Si elle n'a pas pu s'exécuter pendant un moment, elle s'exécute plusieurs fois consécutives

Gestion des exceptions

- Si une tâche planifiée dans un timer lève une exception
  - la tâche est annulée
  - et le timer est interrompu !!!
- Il faut donc penser à
  - Récupérer toute exception levée par une tâche
  - Annuler cette tâche dans le try/catch (this.cancel())
  - Permettre au timer de continuer à exécuter les autres tâches

Les crochets d'arrêt (*Shutdown Hooks*)

- Plusieurs façons de sortir d'une exécution de JVM
  - Normales:
    - Fin de tous les processus légers non *daemon*
    - Appel de la méthode exit() de l'environnement d'exécution
  - Plus brutales:
    - Control-C
    - Levée d'erreur jamais récupérée
- Corchets d'arrêt
  - Portion de code exécutée par la JVM quand elle s'arrête
  - Sous la forme de processus légers

Enregistrement des crochets d'arrêt

- Sur l'objet runtime courant Runtime.getRuntime()
  - addShutdownHook(...) pour enregistrer
  - removeSutdownHook(...) pour désenregistrer
  - Avec comme argument un contrôleur de processus léger, héritant de la classe Thread, dont la méthode run() de la cible spécifie du code
  - Lorsqu'elle s'arrête, la JVM appelle leur méthode start()
    - Aucune garantie sur l'ordre dans lequel ils sont exécutés
    - Chacun est exécuté dans un processus léger différent

Exemple de crochet d'arrêt

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

public class HookExample {
  public static void main(String[] args)
                                    throws IOException {

    Thread hook = new Thread() {
      public void run() {
        try {
          out.write("Exec. aborted at"+new Date());
          out.newLine();
          out.close();
        } catch(IOException ioe) {
          ioe.printStackTrace();
        }
      }
    };
    // à suivre...
```


Exemple de crochet d'arrêt (2)

```
// ...suite du main
    final BufferedWriter out = new BufferedWriter(
                    new FileWriter("typed.txt"));
    BufferedReader kbd = new BufferedReader(
                    new InputStreamReader(System.in));

    Runtime.getRuntime().addShutdownHook(hook);
    String line;
    while ((line = kbd.readLine()) != null) {
      if (line.equals("halt"))
      Runtime.getRuntime().halt(1);
      out.write(line);
      out.newLine();
    }
    Runtime.getRuntime().removeShutdownHook(hook);
    out.close();
    kbd.close();
   }
  }
```


Résultat

- Si le flot d'entrée est fermé normalement (Ctrl-D)
  - Le crochet est désenregistré (jamais démarré par JVM)
  - Les flots sont fermés (le contenu purgé dans le fichier)
- Si la machine est arrêtée par un Ctrl-C ou par une exception non récupérée
  - Le crochet est démarré par la JVM
  - Le fichier contient : « `Exec. aborted at...` »
- Si la JVM est arrêtée par halt() ou par un KILL
  - Le crochet n'est pas démarré
  - Potentiellement, le flot n'a pas été purgé dans le fichier