

Systèmes concurrents

2SN

ENSEEIH
Département Sciences du Numérique

22 octobre 2020



1 / 73

Généralités	Threads Java	Synchronisation Java	POSIX Threads & autres approches
○○○○○○○○	○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

Sixième partie

Programmation multiactivité Java & Posix Threads



2 / 73

Généralités	Threads Java	Synchronisation Java	POSIX Threads & autres approches
○○○○○○○○	○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

Contenu de cette partie

Préparation aux TP : présentation des outils de programmation concurrente autour de la plateforme Java

- notion de processus léger
- présentation de la plateforme
- classe Thread
- objets de synchronisation : moniteurs, sémaphores...
- régulation des activités : pools d'activités, appels asynchrones, fork/join...
- outils de synchronisation de bas niveau
- autres environnements et modèles : Posix, OpenMP...



3 / 73

Généralités	Threads Java	Synchronisation Java	POSIX Threads & autres approches
●○○○○○○○	○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

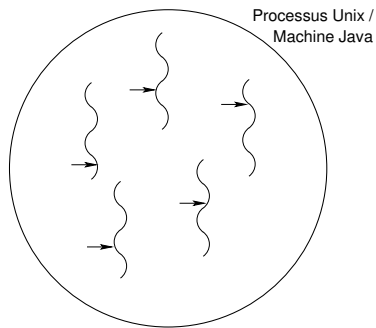
Plan

- 1 Généralités
- 2 Threads Java
 - Manipulation des activités
 - Données localisées
- 3 Synchronisation Java
 - Moniteur Java
 - Autres objets de synchronisation
 - Régulation du parallélisme
 - Synchronisation – java d'origine
- 4 POSIX Threads & autres approches
 - Posix Threads
 - Synchronisation Posix Thread
 - Autres approches



4 / 73

Processus multiactivité

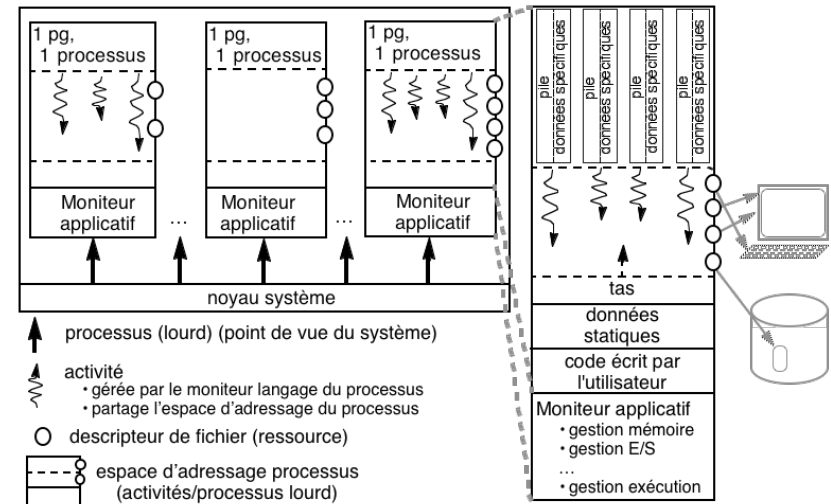


1 espace d'adressage, plusieurs flots de contrôle.
 ⇒ plusieurs **activités** (ou processus légers) au sein d'un même processus UNIX / d'une même machine virtuelle Java.



5 / 73

Mise en œuvre des processus légers



7 / 73

Relation et différences entre processus lourds et légers

- *Processus lourds* : représentent l'exécution d'une application, du point de vue du système
 - **unité d'allocation de ressources**
 - espaces d'adressage et ressources distinctes (pas de partage)
 - commutation coûteuse (appels systèmes → passage par le mode superviseur)
- *Processus légers* (threads, activités...) :
 - **unité d'exécution** : résulte de la décomposition (fonctionnelle) d'un traitement en sous-traitements parallèles, pour tirer profit de la puissance de calcul disponible, ou simplifier la conception
 - les ressources (mémoire, fichiers...) du processus lourd exécutant un traitement sont partagées entre les activités réalisant ce traitement
 - chaque activité a sa pile d'exécution et son contexte processeur, mais les autres éléments sont partagés
 - une bibliothèque **applicative** (« moniteur ») gère le partage entre activités du temps processeur alloué au processus lourd
 - commutation plus efficace.



6 / 73

Difficultés de mise en œuvre des processus légers

L'activité du moniteur applicatif est opaque pour le système d'exploitation : le moniteur du langage multiplexe les ressources d'un processus lourd entre ses activités, sans appel au noyau.

- commutation de contexte plus légère, **mais**
 - appels système usuellement bloquants
 - 1 activité bloquée ⇒ toutes les activités bloquées
 - utiliser des appels systèmes non bloquants (s'ils existent) au niveau du moniteur applicatif, et gérer l'attente,
 - réaction aux événements asynchrones a priori « lente »
 - définir 1 service d'événements au niveau du moniteur applicatif, et utiliser (si c'est possible) le service d'événements système

Remarque : la mise en œuvre des processus légers est directe lorsque le système d'exploitation fournit un service d'activités noyau et permet de coupler activités noyau et activités applicatives



8 / 73

Processeurs virtuels

Entre le processeur physique et les activités, il existe généralement une entité interne au noyau, appelé *kernel process* ou *processeur virtuel*.

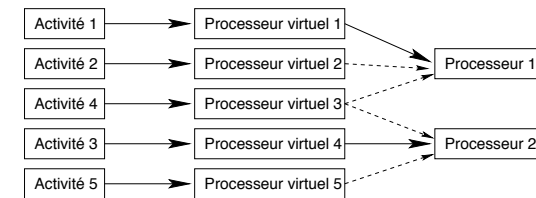
Cette entité est *généralement* l'unité de blocage : un appel système bloquant (`read...`) bloque le processeur virtuel qui l'exécutait.

- ① Many-to-one : 1 seul processeur virtuel par processus
- ② Many-to-many : 1 processeur virtuel par activité
- ③ Many-to-few : quelques processeurs virtuels par processus



9 / 73

Many-to-many

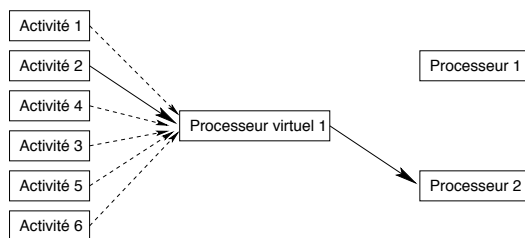


- + vrai parallélisme si plusieurs processeurs physiques
- + pas de blocage des autres activités en cas d'appel bloquant
- commutation moins efficace (dans le noyau)
- ressources consommées élevées



11 / 73

Many-to-one

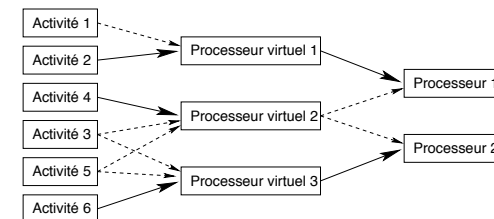


- + commutation entre activités efficace
- + implantation simple et portable
- pas de bénéfice si plusieurs processeurs
- blocage du processus (donc de toutes les activités) en cas d'appel système bloquant, ou implantation complexe



10 / 73

Many-to-few



- + vrai parallélisme si plusieurs processeurs physiques
- + meilleur temps de commutation
- + meilleur rapport ressources/nombre d'activités
- + pas de blocage des autres activités en cas d'appel bloquant
- complexe, particulièrement si création automatique de nouveaux processeurs virtuels
- faible contrôle des entités noyau



12 / 73

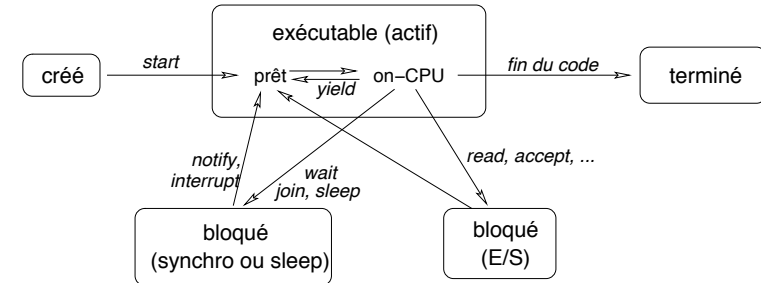
Plan

- 1 Généralités
- 2 Threads Java
 - Manipulation des activités
 - Données localisées
- 3 Synchronisation Java
 - Moniteur Java
 - Autres objets de synchronisation
 - Régulation du parallélisme
 - Synchronisation – java d'origine
- 4 POSIX Threads & autres approches
 - Posix Threads
 - Synchronisation Posix Thread
 - Autres approches



13 / 73

Cycle de vie d'une activité



15 / 73

Conception d'applications parallèles en Java

Java permet de manipuler

- les processus (lourds) : classes `java.lang.ProcessBuilder` et `java.lang.Process`
- les activités (processus légers) : classe `java.lang.Thread`

Le degré de parallélisme des applications Java peut être

- contrôlé directement (manipulation des threads)
- ou régulé
 - explicitement : interface `java.util.concurrent.Executor`
 - implicitement : programmation asynchrone/fonctionnelle



14 / 73

Création d'une activité – interface Runnable

Code d'une activité

```
class MonActivité implements Runnable {
    public void run() { /* code de l'activité */ }
}
```

Création d'une activité

```
Runnable a = new MonActivité(...);
Thread t = new Thread(a); // activité créée
t.start(); // activité démarrée
...
t.join(); // attente de la terminaison
```

```
Thread t = new Thread(() -> { /* code de l'activité */ });
t.start();
```



16 / 73

Création d'activités – exemple

```
class Compteur implements Runnable {
    private int max;
    private int step;
    public Compteur(int max, int step) {
        this.max = max; this.step = step;
    }
    public void run() {
        for (int i = 0; i < max; i += step)
            System.out.println(i);
    }
}

public class DemoThread {
    public static void main (String[] a) {
        Compteur c2 = new Compteur(10, 2);
        Compteur c3 = new Compteur(15, 3);
        new Thread(c2).start();
        new Thread(c3).start();
    }
}
```

Quelques méthodes

Classe Thread :

static Thread currentThread()
obtenir l'activité appelante

static void sleep(long ms) throws InterruptedException
suspend l'exécution de l'activité appelante pendant la durée indiquée (ou jusqu'à ce que l'activité soit interrompue)

void join() throws InterruptedException
suspend l'exécution de l'activité appelante jusqu'à la terminaison de l'activité sur laquelle join() est appliquée (ou jusqu'à ce que l'activité appelante soit interrompue)



19 / 73

Création d'une activité – héritage de Thread

Héritage de la classe Thread et redéfinition de la méthode run :

Définition d'une activité

```
class MonActivité extends Thread {
    public void run() { /* code de l'activité */ }
}
```

Utilisation

```
MonActivité t = new MonActivité(); // activité créée
t.start(); // activité démarrée
...
t.join(); // attente de la terminaison
```

Déconseillé : risque d'erreur de redéfinition de Thread.run.



18 / 73

Interruption

Mécanisme minimal permettant d'interrompre une activité.

La méthode **interrupt()** appliquée à une activité provoque

soit la levée de l'exception **InterruptedException** si l'activité est bloquée sur une opération de synchronisation (**Thread.join**, **Thread.sleep**, **Object.wait...**)

soit le positionnement d'un indicateur **interrupted**, testable :

boolean isInterrupted() qui renvoie la valeur de l'indicateur de l'activité sur laquelle cette méthode est appliquée ;

static boolean interrupted() qui renvoie et efface la valeur de l'indicateur de l'activité appelante.

Pas d'interruption des entrées-sorties bloquantes ⇒ peu utile.



20 / 73

Données localisées / spécifiques

Un **même** objet localisé (instance de `InheritableThreadLocal` ou `ThreadLocal`) possède une **valeur spécifique** dans chaque activité.

```
class MyValue extends ThreadLocal {
    // surcharger éventuellement initValue
}
class Common {
    static MyValue val = new MyValue();
}
// thread t1           // thread t2
o = new Integer(1);    o = "machin";
Common.val.set(o);     Common.val.set(o);
x = Common.val.get();  x = Common.val.get();
```

Utilisation \approx variable locale à chaque activité : identité de l'activité, priorité, date de création, requête traitée. . .



Objets de synchronisation

Le paquetage `java.util.concurrent` fournit

- une réalisation des moniteurs
- divers autres objets de synchronisation
 - barrière
 - sémaphore
 - compteur
 - ...
- le contrôle du degré de parallélisme : `Thread`, `Executor`
- des structures de données autorisant/facilitant les accès concurrents
 - accès atomiques : `ConcurrentHashMap`...
 - accès non bloquants : `ConcurrentLinkedQueue`



Plan

- 1 Généralités
- 2 Threads Java
 - Manipulation des activités
 - Données localisées
- 3 Synchronisation Java
 - Moniteur Java
 - Autres objets de synchronisation
 - Régulation du parallélisme
 - Synchronisation – java d'origine
- 4 POSIX Threads & autres approches
 - Posix Threads
 - Synchronisation Posix Thread
 - Autres approches



Moniteur Java

Principe des moniteurs

- 1 verrou assurant l'exclusion mutuelle
- plusieurs variables conditions associées à ce verrou
- attente/signalement de ces variables conditions
- = **un moniteur**
- pas de priorité au signalé et pas de file des signalés



Moniteur Java - un producteur/consommateur (1)

```
import java.util.concurrent.locks.*;
class ProdCon {
    Lock verrou = new ReentrantLock();
    Condition pasPlein = verrou.newCondition();
    Condition pasVide = verrou.newCondition();
    Object[] items = new Object[100];
    int depot, retrait, nbElems;

    public void depoter(Object x) throws InterruptedException {
        verrou.lock();
        while (nbElems == items.length)
            pasPlein.await();
        items[depot] = x;
        depot = (depot + 1) % items.length;
        nbElems++;
        pasVide.signal();
        verrou.unlock();
    }
    ...
}
```



Sémaphores

Sémaphore

```
Semaphore sem = new Semaphore(1); // nb initial de jetons
sem.acquire(); // = down
sem.release(); // = up
```

```
public class ProdConSem {
    private Semaphore mutex, placesVides, placesPleines;
    private Object[] items;
    private int depot, retrait;
    public ProdConSem(int nbElems) {
        items = new Object[nbElems];
        depot = retrait = 0;
        placesVides = new Semaphore(nbElems);
        placesPleines = new Semaphore(0);
        mutex = new Semaphore(1);
    }
    ...
}
```



Moniteur Java - un producteur/consommateur (2)

```
...
public Object retirer () throws InterruptedException {
    verrou.lock();
    while (nbElems == 0)
        pasVide.await();
    Object x = items[retrait];
    retrait = (retrait + 1) % items.length;
    nbElems--;
    pasVide.signal();
    verrou.unlock();
    return x;
}
}
```

Sémaphores - un producteur/consommateur (2)

```
...
public void depoter(Object x) throws InterruptedException {
    placesVides.acquire();
    mutex.acquire();
    items[depot] = x;
    depot = (depot + 1) % items.length;
    mutex.release();
    placesPleines.release();
}

public Object retirer () throws InterruptedException {
    placesPleines.acquire();
    mutex.acquire();
    Object x = items[retrait];
    retrait = (retrait + 1) % items.length;
    mutex.release();
    placesVides.release();
    return x;
}
}
```

Producteurs/consommateurs

Paquetage `java.util.concurrent`

BlockingQueue

`BlockingQueue` = producteurs/consommateurs (interface)
`LinkedBlockingQueue` = prod./cons. à tampon non borné
`ArrayBlockingQueue` = prod./cons. à tampon borné

```
BlockingQueue bq = new ArrayBlockingQueue(4); // capacité
bq.put(m); // dépôt (bloquant) d'un objet en queue
x = bq.take(); // obtention (bloquante) de l'objet en tête
```



29 / 73

Compteurs, Verrous L/R

`java.util.concurrent.CountDownLatch`

`init(N)` valeur initiale du compteur
`await()` bloque si strictement positif, rien sinon.
`countDown()` décrémente (si strictement positif).
 Lorsque le compteur devient nul, toutes les activités bloquées sont débloquées.

interface `java.util.concurrent.locks.ReadWriteLock`

Verrous pouvant être acquis en mode

- exclusif (`writeLock().lock()`),
- partagé avec les autres non exclusifs (`readLock().lock()`)

→ schéma lecteurs/rédacteurs.

Implantation : `ReentrantReadWriteLock` (avec/sans équité)



31 / 73

Barrière

`java.util.concurrent.CyclicBarrier`

Rendez-vous bloquant entre N activités : passage bloquant tant que les N activités n'ont pas demandé à franchir la barrière ; passage autorisé pour toutes quand la N -ième arrive.

```
CyclicBarrier barriere = new CyclicBarrier(3);
for (int i = 0; i < 8; i++) {
    Thread t = new Thread(
        () -> { barriere.await();
                System.out.println("Passé !");
            });
    t.start();
}
```

Généralisation : la classe `Phaser` permet un rendez-vous (bloquant ou non) pour un groupe variable d'activités.



30 / 73

Atomicité à grain fin

Outils pour réaliser la coordination par l'accès à des données partagées, plutôt que par suspension/réveil (attente/signal d'événement)

- le paquetage `java.util.concurrent.atomic` fournit des classes qui permettent des accès atomiques cohérents,
- et des opérations de mise à jour conditionnelle du type `TestAndSet`.
- Les lectures et écritures des références déclarées `volatile` sont atomiques et cohérentes.

⇒ synchronisation non bloquante

Danger

Concevoir et valider de tels algorithmes est très ardu. Ceci a motivé la définition d'objets de synchronisation (sémaphores, moniteurs...) et de patrons (producteurs/consommateurs...)



32 / 73

Plan

- 1 Généralités
- 2 Threads Java
- 3 Synchronisation Java
 - Moniteur Java
 - Autres objets de synchronisation
 - Régulation du parallélisme
 - Synchronisation – java d'origine
- 4 POSIX Threads & autres approches



33 / 73

Interfaces d'exécuteurs

- Interface `java.util.concurrent.Executor` :
`void execute(Runnable r),`
 - fonctionnellement équivalente à `(new Thread(r)).start()`
 - mais `r` ne sera pas forcément exécuté immédiatement / par une nouvelle activité.
- Interface `java.util.concurrent.ExecutorService` :
`Future<T> submit(Callable<T> task)`
 soumission d'une tâche rendant un résultat, récupérable ultérieurement, de manière asynchrone.
- L'interface `ScheduledExecutorService` est un `ExecutorService`, avec la possibilité de spécifier un calendrier (départs, périodicité...) pour les tâches exécutées.



35 / 73

Services de régulation du parallélisme : exécuteurs

Idée

Séparer la création et la vie des activités des autres aspects (fonctionnels, synchronisation...)
 → définition d'un service de gestion des activités (exécuteur), régulant/adaptant le nombre d'activités effectivement actives, en fonction de la charge courante et du nombre de CPU disponibles :

- trop d'activités → consommation de ressources inutile
- pas assez d'activités → capacité de calcul sous-utilisée



34 / 73

Utilisation d'un Executor (sans lambda)

```
import java.util.concurrent.*;

public class ExecutorExampleOld {
    public static void main(String[] a) throws Exception {
        final int NB = 10;
        ExecutorService exec = Executors.newCachedThreadPool();
        Future<?>[] res = new Future<?>[NB];
        for (int i = 0; i < NB; i++) { // lancement des travaux
            int j = i;
            exec.execute(new Runnable() {
                public void run() {
                    System.out.println("hello" + j);
                }
            });
            res[i] = exec.submit(new Callable<Integer>() {
                public Integer call() { return 3 * j; }
            });
        }
        // récupération des résultats
        for (int i = 0; i < NB; i++) {
            System.out.println(res[i].get());
        }
    }
}
```

Utilisation d'un Executor (avec lambda)

```
import java.util.concurrent.*;
public class ExecutorExample {
    public static void main(String[] a) throws Exception {
        final int NB = 10;
        ExecutorService exec = Executors.newCachedThreadPool();
        Future<?>[] res = new Future<?>[NB];

        // lancement des travaux
        for (int i = 0; i < NB; i++) {
            int j = i;
            exec.execute(() -> { System.out.println(" hello" + j); });
            res[i] = exec.submit(() -> { return 3 * j; });
        }

        // récupération des résultats
        for (int i = 0; i < NB; i++) {
            System.out.println(res[i].get());
        }
    }
}
```

Implantation minimale d'un pool de threads

```
import java.util.concurrent.*;
public class NaiveThreadPool2 implements Executor {
    private BlockingQueue<Runnable> queue;

    public NaiveThreadPool2(int nthr) {
        queue = new LinkedBlockingQueue<Runnable>();
        for (int i=0; i<nthr; i++)
            (new Thread(new Worker())).start();
    }

    public void execute(Runnable job) { queue.put(job); }

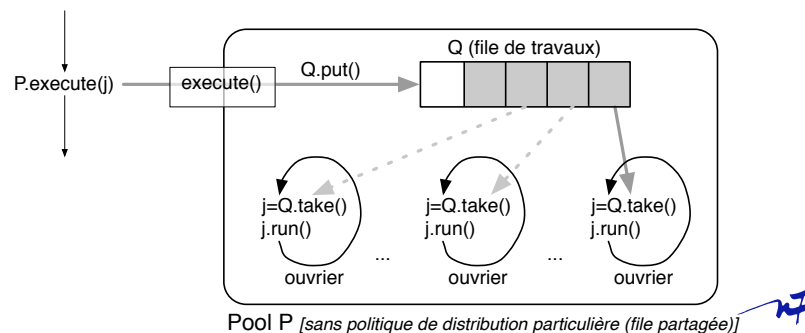
    private class Worker implements Runnable {
        public void run() {
            while (true) {
                Runnable job = queue.take(); // bloque si besoin
                job.run();
            }
        }
    }
}
```

Généralités Threads Java Synchronisation Java POSIX Threads & autres approches

Pool de Threads

Schéma de base pour la plupart des implémentations d'exécuteurs

- Une file d'attente de travaux à effectuer
- Un ensemble (fixe ou dynamique) d'activités (ouvriers)
- Une politique de distribution des travaux aux activités (réalisée par un protocole ou par une activité)



Généralités Threads Java Synchronisation Java POSIX Threads & autres approches

Exécuteurs prédéfinis

java.util.concurrent.Executors est une fabrique pour des stratégies d'exécution :

- Nombre fixe d'activités : `newSingleThreadExecutor()`, `newFixedThreadPool(int nThreads)`
- Nombre d'activités adaptable : `newCachedThreadPool()`
 - Quand il n'y a plus d'activité disponible et qu'un travail est déposé, création d'une nouvelle activité
 - Quand la queue est vide et qu'un délai suffisant (p.ex. 1 min) s'est écoulé, terminaison d'une activité inoccupée
- Parallélisme massif avec vol de jobs : `newWorkStealingPool(int parallelism)`

java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor permet de contrôler les paramètres de la stratégie d'exécution : politique de la file (FIFO, priorités...), file bornée ou non, nombre minimal / maximal de threads...

Évaluation asynchrone : Callable et Future

- Evaluation paresseuse : l'appel effectif d'une fonction peut être différé (éventuellement exécuté en parallèle avec l'appelant)
- `submit(...)` fournit à l'appelant une référence à la valeur **future** du résultat.
- L'appelant ne se bloque que quand il doit utiliser le résultat de l'appel (si l'évaluation de celui-ci n'est pas terminée).
→ appel de la méthode `get()` sur le Future

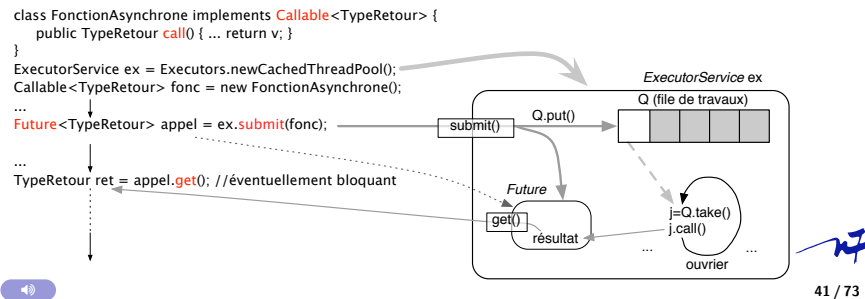
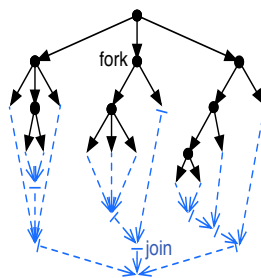


Schéma diviser pour régner (fork/join, map/reduce)

Schéma de base

```

Résultat résoudre(Problème pb) {
    si (pb est assez petit) {
        résoudre directement pb
    } sinon {
        décomposer le problème en parties indépendantes
        fork : créer des (sous-)tâches
            pour résoudre chaque partie
        join : attendre la réalisation de ces (sous-)tâches
        fusionner les résultats partiels
        retourner le résultat
    }
}
    
```

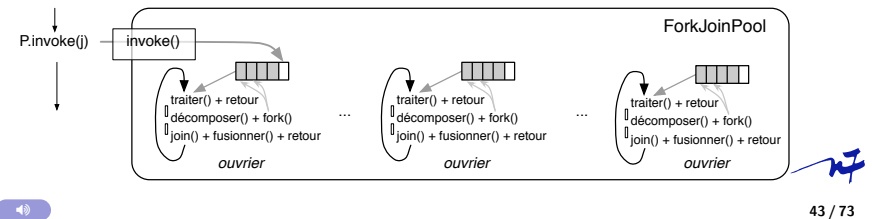


Exécuteur pour le schéma fork/join (1/3)

Difficulté de la stratégie diviser pour régner :
schéma exponentiel + coût de la création d'activités

Classe ForkJoinPool

- Ensemble prédéterminé (pool) d'activités, **chacune** équipée d'une file d'attente de travaux à traiter.
- Les activités gérées sont des instances de `ForkJoinTask` (méthodes `fork()` et `join()`)



Exécuteur pour le schéma fork/join (2/3)

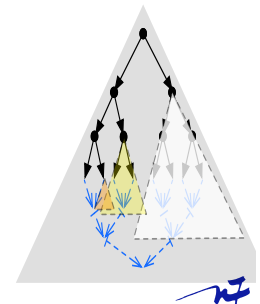
Activité d'un ouvrier du ForkJoinPool :

- Un ouvrier traite la tâche placée en **tête** de **sa** file
- Un ouvrier appelant `fork()` ajoute les travaux créés en **tête** de **sa** propre file

→

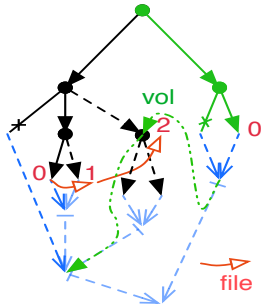
Chaque ouvrier traite un arbre de tâches qu'il

- **parcourt** et traite **en profondeur** d'abord → économie d'espace
- **construit** progressivement **en largeur**, au fur et à mesure de son parcours : lorsqu'un ouvrier descend d'un niveau, les frères de la tâche à traiter sont créés, et placés en tête de la file d'attente



Exécuteur pour le schéma fork/join (3/3)

Vol de travail : lorsqu'une activité a épuisé les travaux de sa file, elle prend un travail en **queue** d'une autre file



La tâche prise correspond au dernier sous-arbre (le plus proche de la racine) qui était affecté à l'ouvrier « volé »

- pas de conflits si les sous-problèmes sont bien partitionnés
- pas d'attente inutile pour l'ouvrier « volé » puisque la tâche volée était la dernière à traiter.



45 / 73

Synchronisation (Java ancien)

Obsolète

La protection par exclusion mutuelle (`synchronized`) sert encore, mais éviter la synchronisation sur objet et préférer les véritables moniteurs introduits dans Java 5.

Principe

- exclusion mutuelle
- attente/signalement sur un objet
- équivalent à un moniteur avec **une seule** variable condition



47 / 73

Plan

- 1 Généralités
- 2 Threads Java
- 3 Synchronisation Java
 - Moniteur Java
 - Autres objets de synchronisation
 - Régulation du parallélisme
 - Synchronisation – java d'origine
- 4 POSIX Threads & autres approches



46 / 73

Exclusion mutuelle

Tout objet Java est équipé d'un verrou d'exclusion mutuelle.

Code synchronisé

```
synchronized (unObj) {
    // Exclusion mutuelle vis-à-vis des autres
    // blocs synchronized(cet objet)
}
```

Méthode synchronisée

```
synchronized T uneMethode(...) { ... }
```

Équivalent à :

```
T uneMethode(...) { synchronized (this) { ... } }
```

(exclusion d'accès à l'objet sur lequel on applique la méthode, pas à la méthode elle-même)



48 / 73

Exclusion mutuelle

Chaque classe possède aussi un verrou exclusif qui s'applique aux méthodes de classe (méthodes statiques) :

```
class X {
    static synchronized T foo() { ... }
    static synchronized T' bar() { ... }
}
```

synchronized assure l'exécution en exclusion mutuelle pour toutes les méthodes **statiques synchronisées** de la classe X.

Ce verrou ne concerne pas l'exécution des méthodes d'objets.



49 / 73

Synchronisation basique – exemple

```
class StationVeloToulouse {
    private int nbVelos = 0;

    public void prendre() throws InterruptedException {
        synchronized(this) {
            while (this.nbVelos == 0) {
                this.wait();
            }
            this.nbVelos--;
        }
    }

    public void rendre() {
        // assume : toujours de la place
        synchronized(this) {
            this.nbVelos++;
            this.notify();
        }
    }
}
```

Synchronisation par objet

Méthodes wait et notify[All] applicables à tout objet, pour lequel l'activité a obtenu l'accès exclusif.

`unObj.wait()` libère l'accès exclusif à l'objet et bloque l'activité appelante en attente d'un réveil via une opération `unObj.notify`

`unObj.notify()` réveille une unique activité bloquée sur l'objet, et la met en attente de l'obtention de l'accès exclusif (si aucune activité n'est bloquée, l'appel ne fait rien) ;

`unObj.notifyAll()` réveille toutes les activités bloquées sur l'objet, qui se mettent toutes en attente de l'accès exclusif.



50 / 73

Synchronisation basique – exemple

```
class BarriereBasique {
    private final int N;
    private int nb = 0;
    private boolean ouverte = false;
    public BarriereBasique(int N) { this.N = N; }

    public void franchir() throws InterruptedException {
        synchronized(this) {
            this.nb++;
            this.ouverte = (this.nb >= N);
            while (! this.ouverte)
                this.wait();
            this.nb--;
            this.notifyAll();
        }
    }

    public synchronized void fermer() {
        if (this.nb == 0)
            this.ouverte = false;
    }
}
```

Difficultés

- prises multiples de verrous :

```
synchronized(o1) { synchronized(o2) { o1.wait(); } }
```

o1 est libéré par wait, mais pas o2

- une seule notification possible pour une exclusion mutuelle donnée → résolution difficile des problèmes de synchronisation

Pas des moniteurs de Hoare !

- programmer comme avec des sémaphores
- affecter un objet de blocage distinct à chaque requête et gérer soit-même les files d'attente
- pas de priorité au signalé, pas d'ordonnancement sur les déblocages



53 / 73

Plan

- 1 Généralités
- 2 Threads Java
 - Manipulation des activités
 - Données localisées
- 3 Synchronisation Java
 - Moniteur Java
 - Autres objets de synchronisation
 - Régulation du parallélisme
 - Synchronisation – java d'origine
- 4 POSIX Threads & autres approches
 - Posix Threads
 - Synchronisation Posix Thread
 - Autres approches



55 / 73

```
class Requête {
    bool ok;
    // paramètres d'une demande
}
List<Requête> file;
```

demande bloquante

```
req = new Requête(...)
synchronized(file) {
    if (satisfiable(req)) {
        // + maj état applicatif
        req.ok = true;
    } else {
        file.add(req)
    }
}
synchronized(req) {
    while (! req.ok)
        req.wait();
}
```

libération

```
synchronized(file) {
    // + maj état applicatif
    for (Requête r : file) {
        synchronized(r) {
            if (satisfiable(r)) {
                // + maj état applicatif
                r.ok = true
                r.notify();
            }
        }
    }
}
```



54 / 73

Posix Threads

Standard de librairie multiactivité pour le C, supporté par de nombreuses implantations plus ou moins conformantes.

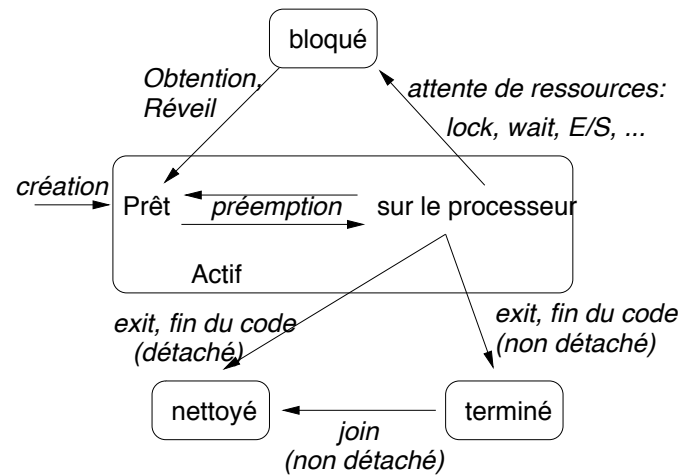
Contenu de la bibliothèque :

- manipulation d'activités (création, terminaison...)
- synchronisation : verrous, variables condition.
- primitives annexes : données spécifiques à chaque activité, politique d'ordonnancement...
- ajustement des primitives standard : processus lourd, E/S, signaux, routines réentrantes.



56 / 73

Cycle de vie d'une activité



Terminaison

```
void pthread_exit (void *status);
```

Termine l'activité appelante en fournissant un code de retour. `pthread_exit(NULL)` est automatiquement exécuté en cas de terminaison du code de l'activité sans appel de `pthread_exit`.

```
int pthread_join (pthread_t thr, void **status);
```

Attend la terminaison de l'activité et récupère le code retour. L'activité ne doit pas être détachée ou avoir déjà été « jointe ».

Création d'une activité

```
int pthread_create (pthread_t *thread,
                   const pthread_attr_t *attr,
                   void * (*start_routine)(void *),
                   void *arg);
```

Crée une nouvelle activité pour exécuter la routine indiquée, appelée avec l'argument `arg`. Les attributs sont utilisés pour définir la priorité et la politique d'ordonnancement (scheduling policy). `thread` contient l'identificateur de l'activité créée.

```
pthread_t pthread_self (void);
int pthread_equal (pthread_t thr1, pthread_t thr2);
```

`self` renvoie l'identificateur de l'activité appelante.
`pthread_equal` : vrai si les arguments désignent la même activité.

Terminaison – 2

```
int pthread_detach (pthread_t thread);
```

Détache l'activité `thread`.

Les ressources allouées pour l'exécution d'une activité (pile...) ne sont libérées que lorsque l'activité s'est terminée et que :

- ou `join` a été effectué,
- ou l'activité a été détachée.

L'activité initiale

Au démarrage, une activité est automatiquement créée pour exécuter la procédure `main`. Elle exécute une procédure de démarrage qui contient le code :

```
{ int r = main(argc,argv); exit(r); }
```

Si la procédure `main` se termine, le process unix est ensuite terminé (par l'appel à `exit`), et non pas seulement l'activité initiale. Pour éviter que la procédure `main` ne se termine alors qu'il reste des activités :

- bloquer l'activité initiale sur l'attente de la terminaison d'une ou plusieurs autres activités (`pthread_join`);
- terminer explicitement l'activité initiale avec `pthread_exit`, ce qui court-circuite l'appel de `exit`.



61 / 73

Synchronisation PThread

Principe

Moniteur de Hoare élémentaire avec priorité au signaleur :

- verrous
- variables condition
- pas de transfert du verrou à l'activité signalée



63 / 73

Données spécifiques

Données spécifiques

Pour une clef donnée (partagée), chaque activité possède **sa propre valeur** associée à cette clef.

```
int pthread_key_create (pthread_key_t *clef,
                        void (*destructeur)(void *));

int pthread_setspecific (pthread_key_t clef,
                        void *val);

void *pthread_getspecific (pthread_key_t clef);
```



62 / 73

Verrou

```
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

int pthread_mutex_init (pthread_mutex_t *mutex,
                        const pthread_mutex_attr *attr);

int pthread_mutex_destroy (pthread_mutex_t *m);
```



64 / 73

Verrouillage/déverrouillage

```
int pthread_mutex_lock (pthread_mutex_t *m);
int pthread_mutex_trylock (pthread_mutex_t *m);
int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *m);
```

lock verrouille le verrou, avec blocage en attente si déjà verrouillé. Renvoie 0 si ok.

trylock verrouille le verrou si possible et renvoie 0, sinon renvoie EBUSY si le verrou est déjà verrouillé.

unlock déverrouille. Seule l'activité qui a verrouillé m a le droit de le déverrouiller.



65 / 73

Attente/signal

```
int pthread_cond_wait (pthread_cond_t*,
                      pthread_mutex_t*);
int pthread_cond_timedwait (pthread_cond_t*,
                           pthread_mutex_t*,
                           const struct timespec *abstime);
```

cond.wait l'activité appelante doit posséder le verrou spécifié. L'activité se bloque sur la variable condition après avoir libéré le verrou. L'activité reste bloquée jusqu'à ce que vc soit signalée et que l'activité ait réacquis le verrou.

cond.timedwait comme cond.wait avec délai de garde. À l'expiration du délai de garde, le verrou est reobtenu et la procédure renvoie ETIMEDOUT.



67 / 73

Variable condition

```
pthread_cond_t vc = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

int pthread_cond_init (pthread_cond_t *vc,
                      const pthread_cond_attr *attr);

int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t *vc);
```



66 / 73

Attente/signal

```
int pthread_cond_signal (pthread_cond_t *vc);
int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t *vc);
```

cond.signal signale la variable condition : une activité bloquée sur la variable condition est réveillée et tente de réacquérir le verrou de son appel de cond.wait. Elle sera effectivement débloquée quand elle le réacquerra.

cond.broadcast toutes les activités en attente sont réveillées, et tentent d'obtenir le verrou correspondant à leur appel de cond.wait.



68 / 73

