

Collection Concurrente

Rémi Forax
forax@univ-mlv.fr

java.util.concurrent

- Deux sortes de classes
 - Des classes utilitaires
 - Sémaphore
 - CountdownLatch
 - CyclicBarrier
 - Exchanger
 - Des collections concurrentes
 - BlockingQueue
 - ExecutorService
 - ScheduledExecutorService

Semaphore

- `java.util.concurrent.Semaphore`
- Permet de limiter le nombre d'accès à une ressource partagée entre différentes threads, en comptant le nombre d'autorisations acquises et rendues
- `Semaphore sema = new Semaphore(MAX, true)`
crée un objet sémaphore équitable (`true`) disposant de `MAX` autorisations
- `sema.acquire()` pour "décompter" de 1, `sema.release()` pour "rendre" l'autorisation

Sémaphore (acquisition)

- `sema.acquire()`
 - la thread courante (t) tente d'acquérir une autorisation.
 - Si c'est possible, la méthode retourne et décrémente de un le nombre d'autorisations.
 - Sinon, t bloque jusqu'à ce que:
 - Soit la thread t soit interrompue (l'exception `InterruptedException` est levée, tout comme si le statut d'interruption était positionné lors de l'appel à `acquire()`)
 - Soit une autre thread exécute un `release()` sur ce sémaphore. T peut alors être débloquée si elle est la première en attente d'autorisation (notion d'«équité» paramétrable dans le constructeur)

Sémaphores (acquisition)

- Tentative d'acquisition insensible au statut d'interruption
 - `void acquireUninterruptibly()` : si la thread est interrompue pendant l'attente, elle continue à attendre. Au retour, son statut d'interruption est positionné.
- Tentative d'acquisition non bloquante ou bornée
 - `boolean tryAcquire()` [ne respecte pas l'équité] et `boolean tryAcquire(long timeout, TimeUnit unit) throws InterruptedException`

Sémaphore (relachement)

- `sema.release()`
 - incrémente le nombre d'autorisations. Si des threads sont en attente d'autorisation, l'une d'elles est débloquée
 - Une thread peut faire `release()` même si elle n'a pas fait de `acquire()` !
 - Différent des moniteurs

Sémaphores

- Sémaphore *binaire*: créé avec 1 seule autorisation
 - Ressource soit disponible soit occupée
 - Peut servir de verrou d'exclusion mutuelle
 - MAIS le verrou peut être «relâché» par une autre thread !
- Paramètre d'équité du constructeur: (*fair*)
 - Si **false**:
 - aucune garantie sur l'ordre d'acquisition des autorisations
 - Par ex: une thread peut acquérir une autorisation alors qu'une autre est bloquée dans un **acquire()** (*barging*)
 - Si **true**:
 - L'ordre d'attente FIFO est garanti (modulo l'exécution interne)

Sémaphores

- Surcharge des méthodes pour plusieurs autorisations
 - `acquire(int permits)`, `release(int permits)`, `acquireUninterruptibly(int permits)`...
- Manipulation sur le nombre d'autorisations
 - `int availablePermits()`, `int drainPermits()` et `void reducePermits(int reduction)`
- Connaissance des threads en attente d'autorisation
 - `boolean hasQueuedThreads()`, `int getQueueLength()`, `Collection<Thread> getQueuedThreads()`

Loquet avec compteur

- `java.util.concurrent.CountDownLatch`
- Initialisé (constructeur) avec un entier
- Décrémenté par la méthode `countDown()` (pas bloquant)
- Une ou plusieurs threads se mettent en attente sur ce loquet par `await()` jusqu'à ce que le compteur "tombe" à zéro.
- Le compteur ne peut pas être réinitialisé (sinon, `CyclicBarrier`)

Barrière cyclique

- `java.util.concurrent.CyclicBarrier`, même genre `CountDownLatch`, réinitialisable (`reset()`)
- Constructeur accepte un `Runnable` spécifiant du code à exécuter par la dernière thread arrivée
- Par ex: si créé avec 3, chaque thread qui fait `await()` sur la barrière attend que 3 threads aient fait `await()`
- Chaque `await()` retourne l'ordre d'arrivée à la barrière
- Pour connaître l'état de la barrière
 - `getParties()` donne le nombre de threads concernées
 - `getNumberWaiting()` le nombre de threads en attente

Barrière cyclique

- ***Broken barrier*** (tout ou rien) dans le cas où
 - un thread quitte le point de barrière prématurément
 - Interruption, problème d'exécution, reset de la barrière
 - Dans ce cas, toutes les threads en attente sur `await()` lèvent `BrokenBarrierException`

Echangeur `java.util.concurrent.Exchanger`

- `Exchanger<V>` permet à 2 threads d'échanger deux valeurs d'un même type `V`
- `V exchange(V x) throws InterruptedException` est une méthode bloquante qui attend qu'une autre thread ait fait le même appel sur le même objet échangeur
 - À cet instant, chaque méthode retourne la valeur passée en argument par l'autre thread
 - Lève `InterruptedException` si la thread est interrompue
- `V exchange(V x, long timeout, TimeUnit unit) throws InterruptedException, TimeoutException` permet de borner l'attente

Collection et concurrence

- En java trois façons d'obtenir des collections concurrentes
 - Utiliser Hashtable et Vector (1.0)
 - Ts les appels sont synchronized
 - Utiliser Collections.synchronized*(...) (1.2)
 - Proxy dont ts les appels sont synchronized sur la collection prise en paramètre
 - Utiliser les collections concurrentes (1.5)
 - Pas de synchronized
 - Utilise les volatiles, atomique et les Locks

Synchronized et Collection

- Si un collection est synchronisée, son itérateur ne l'est pas (pas possible)

```
public static void main(String[] args) {
    final List<String> list=Collections.synchronizedList(
        new ArrayList<String>());
    new Thread(new Runnable() {
        public void run() {
            for(;;) {
                synchronized(list) {
                    for(String s:list)           // utilise un itérateur
                        System.out.println(s);
                }
                try {
                    Thread.sleep(1000);
                } catch(...)
            }
        }
    }).start();
}
for(int i=0;i<100000;i++)
    list.add(Integer.toString(i));
```

Collections concurrentes

- Ces collections possèdent des propriétés communes
 - Il est interdit de stocker null
 - Les bulks operations `addAll()`, `removeAll()`, `retainAll()` ne sont pas garantie d'être atomiques
 - Les itérateurs ne sont pas fail-fast, et donc renvoient jamais de `ConcurrentModificationException`

Collections concurrentes

- Marche sans synchronized
 - List
 - CopyOnWriteArrayList (snapshot iterator)
 - Set
 - CopyOnWriteArraySet (snapshot iterator)
 - ConcurrentSkipListSet (weakly consistent iterator)
 - Map
 - ConcurrentSkipListMap (weakly consistent iterator)
 - ConcurrentHashMap (weakly consistent iterator)

Les files d'attente (BlockingQueue)

- Interface qui hérite de `java.util.Queue`
- Opérations :
 - `boolean offer(E o)` ajoute si possible, sinon retourne false
 - `boolean offer(E o, long timeout, TimeUnit unit)` throws `InterruptedException`
 - `E poll()` retourne la tête et l'enlève, ou null si c'est vide
 - `E poll(long timeout, TimeUnit unit)` throws `InterruptedException`
 - `E peek()` retourne la tête, ou null si c'est vide, mais de l'enlève pas
 - `int drainTo(Collection<? super E> c)` retire tous les éléments dispo.
 - `int drainTo(Collection<? super E> c, int maxElem)` retire au plus `maxElem` éléments

Les files d'attente (BlockingQueue)

- Interface qui hérite de `java.util.Queue`
- Opération bloquantes
 - `void put(E o)` throws `InterruptedException`
 - `E take()` throws `InterruptedException`

ArrayBlockingQueue et LinkedBlockingQueue

- Implémentent BlockingQueue par tableau et liste chaînée
 - ArrayBlockingQueue peut être paramétré pour être "équitable" (*fair*) ou non dans l'accès des threads mises en attente
 - LinkedBlockingQueue peut être optionnellement bornée à la création par une capacité maximale
 - Implémentent Iterable: l'itération est faite dans l'ordre
 - "**weakly consistent**" itérateur qui ne lève jamais [ConcurrentModificationException](#). Les modifications ultérieures à la création peuvent (ou non) être reflétées par l'itérateur.
 - `int remainingCapacity()` retourne la capacité restante ou `Integer.MAX_VALUE` si la file n'est pas bornée
 - `int size()` donne le nombre d'éléments dans la file

Autres files d'attente

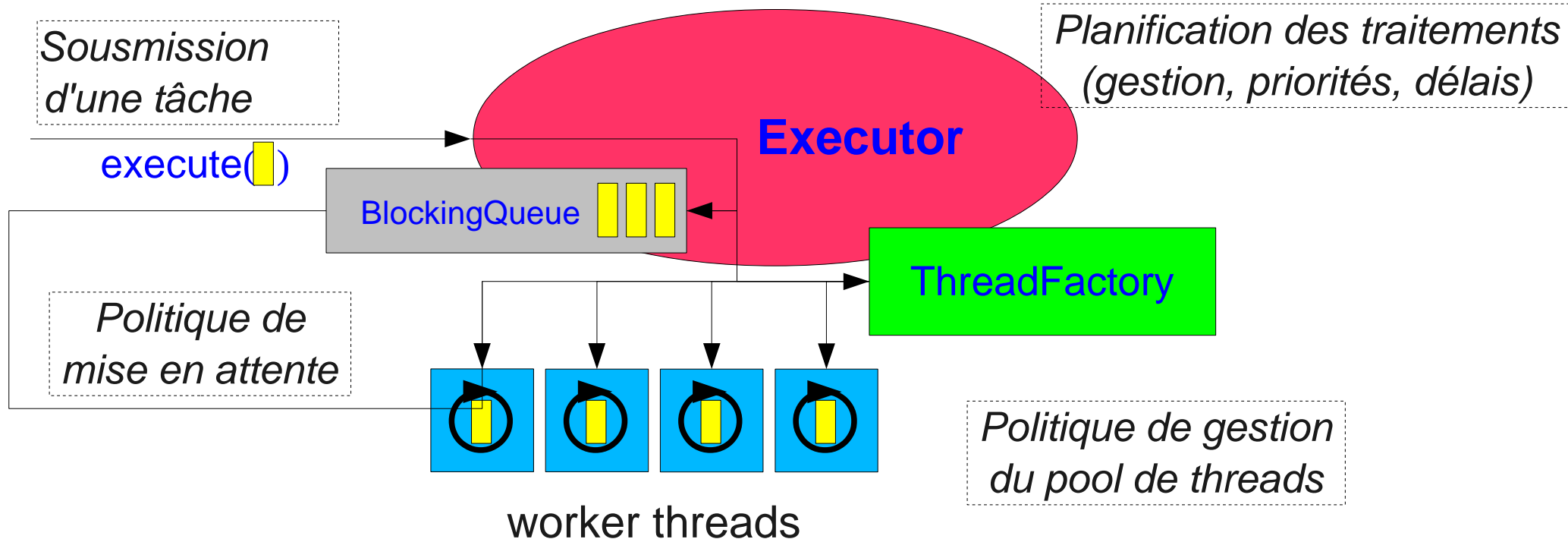
- `DelayQueue<E extends Delayed>`
 - File d'attente non bornée dans laquelle ne peuvent être retirés les éléments que lorsque leur délai (`getDelay()`) a expiré
- `SynchronousQueue<E>`
 - File de capacité zéro dans laquelle chaque `put()` doit attendre un `take()` et vice versa (sorte de canal de rendez-vous)
 - Par défaut, pas équitable (fairness), mais spécifiable à la construction
- `PriorityBlockingQueue<E>`
 - File d'attente non bornée qui trie ses éléments selon un ordre fixé à la construction (un `Comparator<? super E>` ou éventuellement l'ordre naturel).
 - Attention: l'itérateur ne respecte pas l'ordre

Les executors

- Interface `Executor`: permet de "gérer" des threads
 - Dissocier la soumission des traitements de leur exécution
 - Une seule méthode: `void execute(Runnable command)`
 - Plein d'implantations: Thread-pool, Scheduled pool, etc.
 - Différentes fabriques d'`Executor` dans la classe `Executors`
- Selon la classe concrète utilisée, le traitement planifiée est prise en charge
 - par un **nouveau** processus léger
 - ou par un processus léger "**réutilisé**"
 - ou encore par **celui qui appelle** la méthode `execute()`
 - et ce en **concurrency** ou de manière **séquentielle**...

Principe d'un Executor

- Un traitement (du code à exécuter) est "soumise"
- L'executor gère les traitements (exécution, mise en file d'attente, planification, création de threads...)
- Il est prise en charge par un "worker thread"



Interface ExecutorService

- Sous-classe d'Executor qui permet de gérer plus finement la planification des traitements
- Gère des traitements spécifiques :
 - l'objet représentant la cible du code à exécuter:
`Runnable` devient une nouvelle interface `Callable<T>`
 - l'exécuteur gère en plus de la planification des différents traitements, leur terminaison, leur valeur de retour, la terminaison de l'exécuteur, etc.

Interface Callable<T>

- **Callable<T>** étend la notion de **Runnable**, en spécifiant un type de retour (de type **T**) et des exceptions :

```
package java.util.concurrent;
public interface Callable<T> {
    public T call() throws Exception;
}
```

- `Executors.callable(Runnable task)` permet de transformer un `Runnable` en `Callable`.

Executor & ExecutorService

- L'interface **Executor**
 - Demande l'exécution d'un runnable
 - void execute(Runnable r)
- L'interface **ExecutorService** hérite de **Executor**, ajoute les méthodes:
 - Demande l'exécution d'un callable
 - `<T> Future<T> submit(Callable<T> task)`
 - Demande l'exécution d'un runnable
 - `Future<?> submit(Runnable task)`
 - `<T> Future<T> submit(Runnable task, T result)`
renvoie result si le traitement est effectué

Interface Future<T>

- Future<T> correspond à une valeur qui va être (ou est déjà) calculée par un traitement (calcul asynchrone)
 - Obtenir la valeur
 - T **get()** throws InterruptedException, ExecutionException, CancellationException
 - Méthode bloquante jusqu'à: a) terminaison normale b) thread interrompue c) levée d'exception à l'exécution d) tâche annulée
 - T **get(long timeout, TimeUnit unit)** throws InterruptedException, ExecutionException, TimeoutException, CancellationException
 - Si **timeout** est écoulé, lève TimeoutException

InterruptedException est une exception dont la **cause** a été levée par la méthode call() du Callable.

TimeUnit

- Type énuméré représentant 1 durée dans une unité donnée
 - MICROSECONDS, MILLISECONDS, NANOSECONDS, SECONDS, MINUTES, HOURS, DAYS
- Offre une méthode conversion

```
public long convert(long sourceDuration, TimeUnit sourceUnit)
```

par ex: `TimeUnit.MILLISECONDS.convert(10L, TimeUnit.MINUTES)` convertit 10 minutes en milisecondes
- Méthodes raccourcis: `public long toNanos(long duration)` équivalent à: `NANOSECONDS.convert(duration, this)`

Arrêter un ExecutorService

- `void shutdown()` continue à exécuter les tâches déjà planifiées, mais plus aucune tâche ne peut être soumise
- `List<Runnable> shutdownNow()` tente d'arrêter activement (typiquement `Thread.interrupt()`) et/ou n'attend plus les tâches en cours, et retourne la liste de celles qui n'ont pas commencé
- `boolean isShutdown()` vrai si `shutdown()` a été appelé
- `boolean isTerminated()` vrai si toutes les tâches sont terminées après un `shutdown()` ou `shutdownNow()`
- `boolean awaitTermination(long timeout, TimeUnit unit)` bloque jusqu'à ce que:
 - soit toutes les tâches soient terminées (après un `shutdown()`),
 - soit le `timeout` ait expiré,
 - soit la thread courante soit interrompue

Un exemple

- Temps d'accès à www.google.fr

```
final InetAddress host=InetAddress.getByName("www.google.fr");

ExecutorService executor = Executors.newCachedThreadPool();
Future<Long> future = executor.submit(new Callable<Long>() {
    public Long call() throws Exception {
        long time=System.nanoTime();
        host.isReachable(2000);
        return System.nanoTime()-time;
    }
});

executor.shutdown();

try {
    System.out.println("reach "+host+" in "+future.get()+" ns");
} catch (ExecutionException e) {
    throw e.getCause();
}
```

Soumettre plusieurs traitements

- Il est possible de soumettre plusieurs traitements en attendant l'exécution de **tous** ou d'**au moins un** traitement
 - En demandant l'attente de tous les traitements
 - `<T> List<Future<T>> invokeAll(Collection<? extends Callable<T>> tasks)`
 - `<T> List<Future<T>> invokeAll(Collection<? extends Callable<T>> tasks, long timeout, TimeUnit unit)`
 - En demandant la fin d'au moins un traitement avec succes
 - `<T> T invokeAny(Collection<? extends Callable<T>> tasks)`
 - `<T> T invokeAny(Collection<? extends Callable<T>> tasks, long timeout, TimeUnit unit)`

Un autre exemple

- Temps d'accès à plusieurs sites

```
InetAddress[] hosts=...
```

```
ArrayList<Callable<Long>> callables=new ArrayList<Callable<Long>>();
for(int i=0;i<hosts.length;i++) {
    final InetAddress host=hosts[i];
    callables.add(new Callable<Long>() {
        public Long call() throws Exception {
            long time=System.nanoTime();
            host.isReachable(2000);
            return System.nanoTime()-time;
        }
    });
}
```

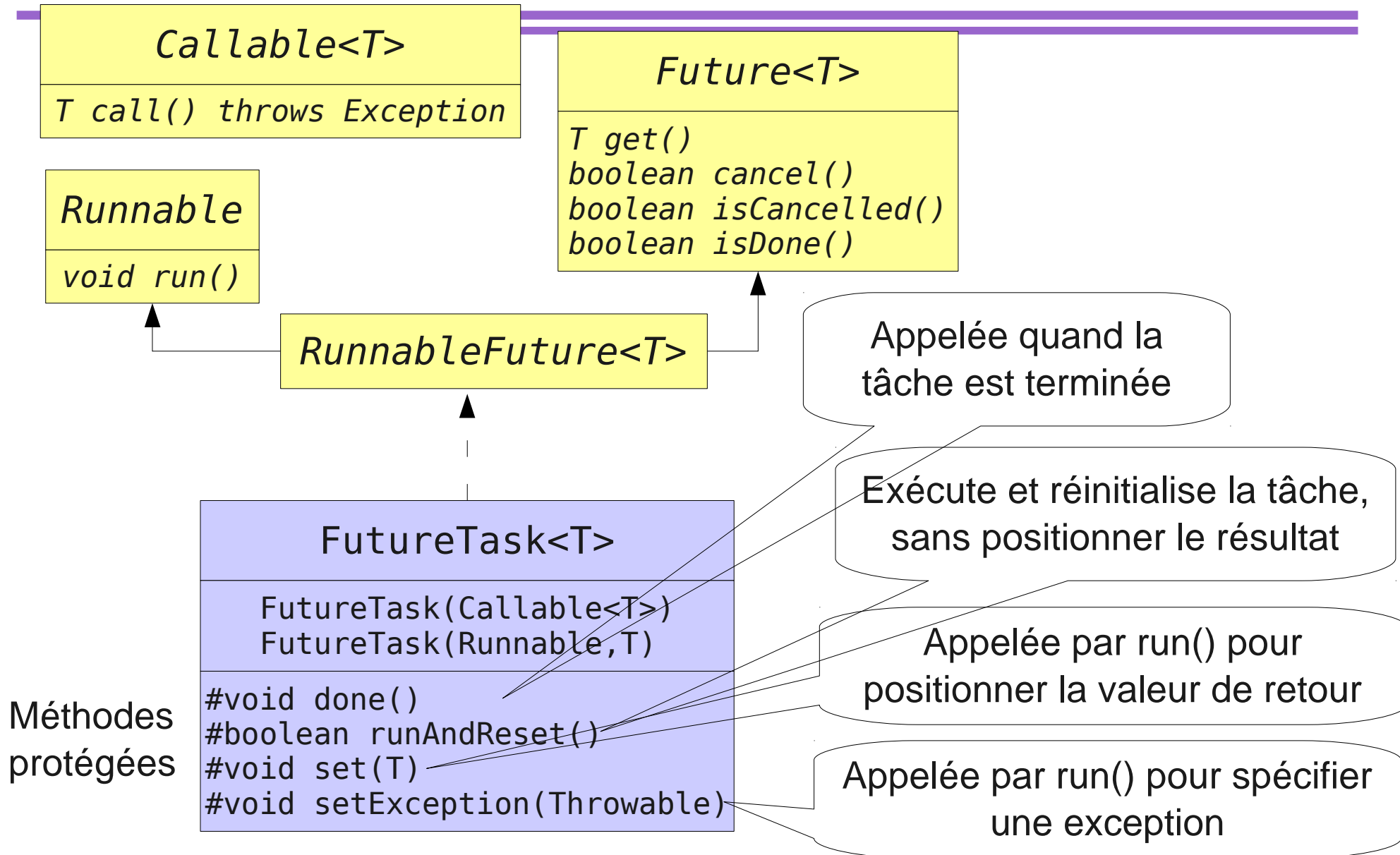
```
ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(2);
List<Future<Long>> futures = executor.invokeAll(callables);
executor.shutdown();
```

```
for(int i=0;i<hosts.length;i++)
    System.out.println("reach "+hosts[i]+" in "+futures.get(i).get()+" ns");
```

Future et traitement

- Un Future sert aussi à *monitorer* le traitement
 - Savoir si le calcul est terminée (quelle que soit la manière)
 - boolean **isDone()**
 - la tâche a été annulée avant d'avoir terminée
 - boolean **isCancelled()**
 - Arrêter un traitement
 - boolean **cancel**(boolean mayInterruptIfRunning)
 - Retourne **false** si pas annulable (déjà terminée)
 - Si le traitement n'est pas encore exécuté, il est sortie de la queue des traitements
 - Si il est en cours d'exécution, il peut ou non être interrompu
 - Si il est déjà fini, rien à faire

FutureTask



CompletionService

- Permet de découpler la planification d'un ensemble de tâches de la manière dont on gère leurs résultats
 - interface `CompletionService<T>`
 - implementation `ExecutorCompletionService<T>`
 - Le constructeur accepte un `Executor` en argument
 - Pour soumettre une tâche:
`Future<T> submit(Callable<T> task)` ou
`Future<T> submit(Runnable task, T result)`
 - Pour récupérer (bloquant) et retirer les résultats (dans l'ordre):
`Future<V> take()`
 - Pour récupérer/retirer (non bloquant; peut retourner `null`)
`Future<V> poll()` ou
`Future<V> poll(long timeout, TimeUnit unit)`

Un exemple de CompletionService

- On affiche les calculs le plus rapidement possible

```
ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(3);
CompletionService<Long> completion=
    new ExecutorCompletionService<Long>(executor);
HashMap<Future<?>,InetAddress> map=new HashMap<Future<?>,InetAddress>();
for(int i=0;i<hosts.length;i++) {
    final InetAddress host=hosts[i];
    Future<Long> future = completion.submit(new Callable<Long>() {
        public Long call() throws Exception {
            long time=System.nanoTime();
            host.isReachable(5000);
            return System.nanoTime()-time;
        }
    });
    map.put(future, host);
}
executor.shutdown();

for(int i=0;i<hosts.length;i++) {
    Future<Long> future=completion.take();
    System.out.println("reach "+map.get(future)+" in "+future.get()+" ns");
}
```

ScheduledExecutorService

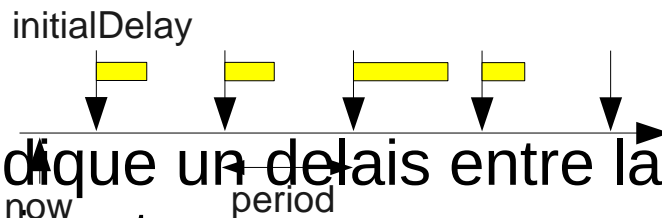
- Ajoute des contraintes temporelles au ExecutorService, marche comme java.util.Timer
- Exécute un traitement après un temps d'attente
 - ScheduledFuture<?> **schedule**(Runnable command, long delay, TimeUnit unit)
 - <V> ScheduledFuture<V> **schedule**(Callable<V> callable, long delay, TimeUnit unit)
- Permet aussi d'exécuter des traitement de façon periodique

Periode ou Delais

- Deux façons d'indiquer les répétitions

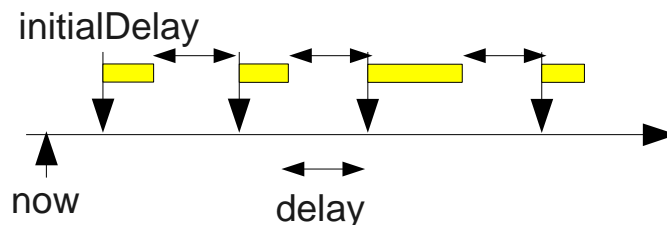
- Indique la période entre deux exécutions

- ScheduledFuture<?> **scheduleAtFixedRate**(Runnable command, long initialDelay, long period, TimeUnit unit)

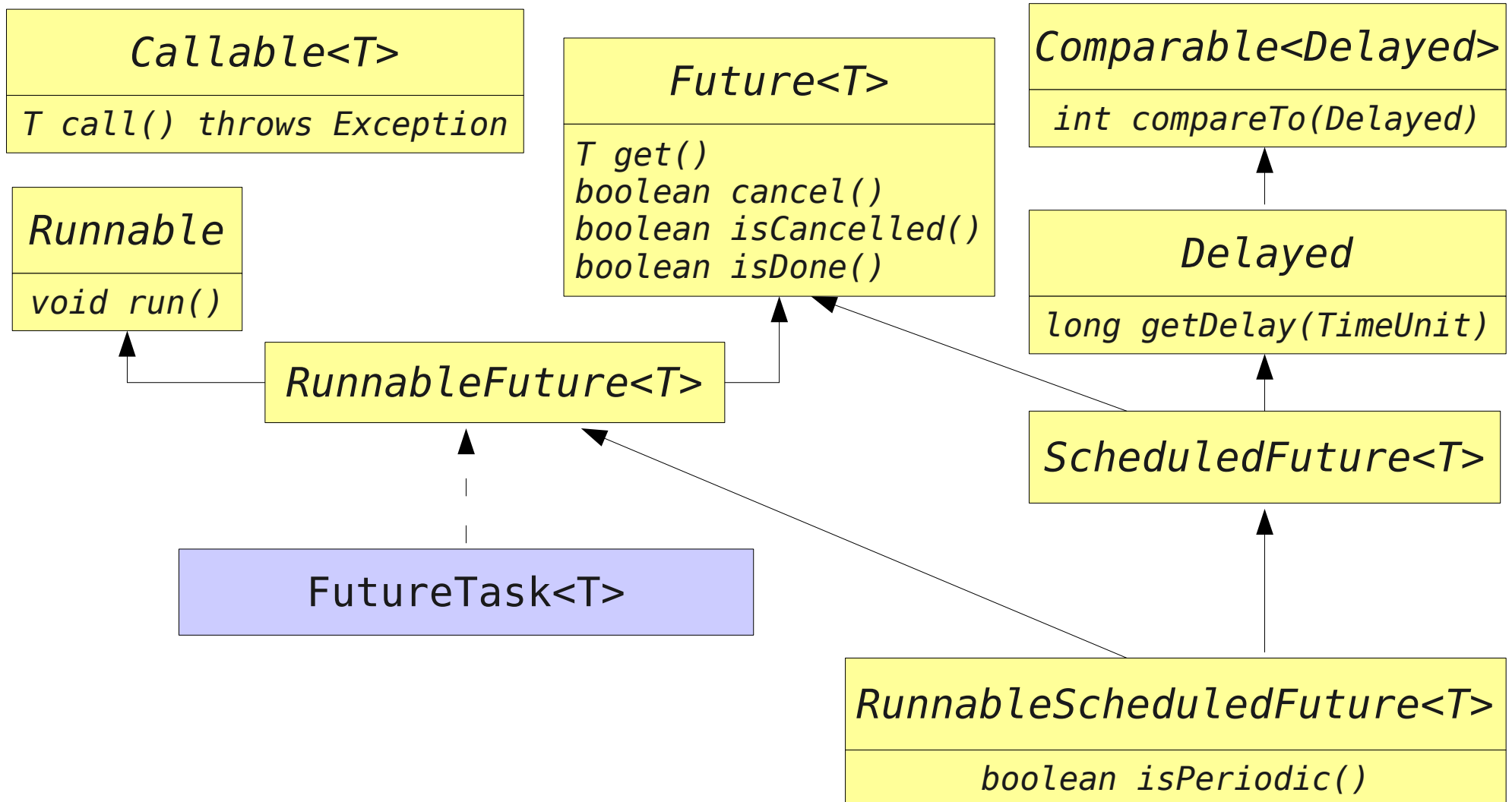


- Indique un delais entre la fin d'une execution et l'execution suivante

- ScheduledFuture<?> **scheduleWithFixedDelay**(Runnable command, long initialDelay, long delay, TimeUnit unit)



ScheduledFuture



Executors

- **ThreadPoolExecutor**
 - Normalement configuré par les fabriques de **Executors**
 - **Executors.newCachedThreadPool()** pool de thread non borné, avec réclamation automatique des threads inactives
 - **Executors.newFixedThreadPool(int)** pool de threads de taille fixe, avec file d'attente non bornée
 - **Executors.newSingleThreadExecutor()** une seule thread qui exécute séquentiellement les tâches soumises
 - Si une thread d'un exécuteur meurt, elle est remplacée
- **ScheduledThreadPoolExecutor**
 - Rendre non configurable un Executor/ScheduledExecutor:
ExecutorService
unconfigurableExecutorService(ExecutorService)

Paramètres des pools de threads

- **Nombre de threads** qui sont créées, actives ou attendant une tâche à exécuter
 - `getPoolSize()` existantes
 - `[get/set]corePoolSize()` gardées dans le pool, même si inactives
 - Par défaut, elles ne sont créées qu'à la demande. On peut forcer par `prestartCoreThread()` ou `prestartAllCoreThreads()`
 - `[get/set]MaximumPoolSize()` maximum à ne pas dépasser
- Temps d'inactivité avant terminaison des threads du pool
 - `[get/set]KeepAliveTime()` si `poolSize > corePoolSize`.
 - Par défaut, `Executors` fournit des pool avec `keepAlive` de 60s
- **ThreadFactory**
 - Spécifiable par le constructeur. `Executors.defaultThreadFactory()` crée des threads de même groupe, de même priorité normale et de statut non démon

Gestion des tâches

- Lorsque une requête de planification de tâche arrive (`execute()`) à un `Executor`, il peut utiliser une file d'attente
 - Si `poolSize < corePoolSize`
 - Créer une thread plutôt que de mettre en file d'attente
 - Si `poolSize >= corePoolSize`,
 - Mettre en file d'attente plutôt que de créer une thread
 - Si la requête ne peut pas être mise en file d'attente
 - Une nouvelle thread est créée à moins que `maximumPoolSize` soit atteint
 - dans ce cas, la requête est rejetée

Tâches rejetées

- Si on tente de planifier une tâche par `execute()` dans un `Executor`
 - qui a déjà été arrêté par `shutdown()`
 - ou qui utilise une taille maximale finie pour son pool de thread et pour sa file d'attente et qui est "saturé"
- Alors il invoque la méthode
 - `rejectedExecution(Runnable tache, ThreadPoolExecutor this)` de son `RejectedExecutionHandler` qui peut être une des quatre classes internes de `ThreadPoolExecutor`:
 - `AbortPolicy`: lève l'exception `RejectedExecutionException (Runtime)`
 - `CallerRunsPolicy`: la thread appelant `execute()` se charge de la tâche rejetée
 - `DiscardPolicy`: la tâche est simplement jetée, oubliée
 - `DiscardOldestPolicy`: si l'Executor n'est pas arrêté, la tâche en tête de file d'attente de l'Executor est jetée, et une nouvelle tentative de planification est tentée (ce qui peut provoquer à nouveau un rejet...)

Politique de mise en attente

- Passages direct (*direct handoffs*)
 - L'attente de mise dans la file échoue si une thread n'est pas immédiatement disponible: création d'une thread
 - Ex: [SynchronousQueue](#)
- Files d'attente non bornées
 - Si les corePoolSize thread de base sont déjà créées et occupées, alors la requête est mise en attente (bien si threads indépendantes)
 - Ex: [LinkedBlockingQueue](#)
- Files d'attente bornées
 - Équilibre à trouver entre la taille de la file d'attente et la taille maximale du pool de threads
 - Ex: [ArrayBlockingQueue](#)