Systèmes Distribués

Licence Informatique 3ème année

Compléments de programmation Java : Flux & Threads

Eric Cariou

Université de Pau et des Pays de l'Adour
UFR Sciences Pau – Département Informatique

Eric.Cariou@univ-pau.fr

Flux Java

Flux Java

- En Java, toutes les entrées/sorties sont gérées via des flux
  - Entrées/sorties standards (clavier/console)
  - Fichiers
  - Sockets
  - ...
- Flux : tuyaux dans lesquels on envoie ou lit des séries de données
  - Information de base qui transite dans un flux : l'octet

Flux Java standards

- Flux d'entrées/sortie standards
  - `System.out`
    - Sortie standard, flux de type `PrintStream`
    - `System.out.println(''nombre = ''+nb);`
  - `System.err`
    - Sortie d'erreur strandard, flux de type `PrintStream`
  - `System.in`
    - Entrée standard, flux de type `InputStream`
    - ```
      while ((c = (char)System.in.read()) != 'z')
          System.out.print(c);
      ```
      ```

Hiérarchie de flux Java

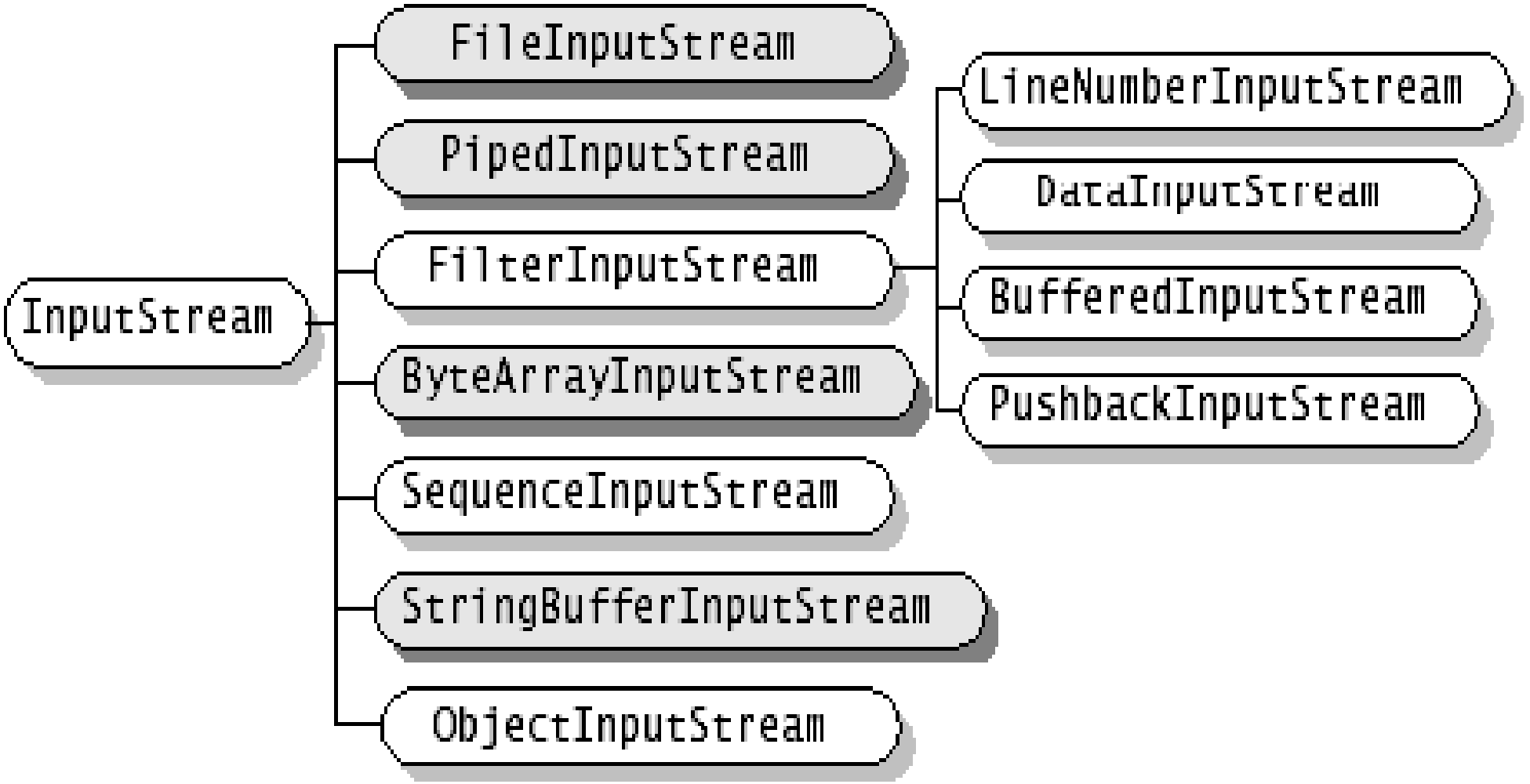
- Java définit une hiérarchie de flux composée de plusieurs dizaines de classes (de types de flux différents)
  - Package `java.io`
- Deux classifications transverses
  - Flux est soit d'entrée, soit de sortie
    - Entrée : le programme lit des informations à partir du flux
    - Sortie : le programme écrit des informations dans le flux
  - Nature de l'information transitant sur le flux
    - Binaire : octet par octet
    - Caractère : 2 octets par 2 octets
      - Codage unicode sur 16 bits

Hiérarchie de flux Java

- Hiérarchie principale
  - Flux de base
  - Flux avec tampon
  - Flux d'accès aux fichiers
  - Flux de filtrage
  - Flux d'impression
  - Flux enchaînés par des « pipes »
  - Flux de concaténation de plusieurs flux en un seul
  - Flux de conversion flux caractère/flux binaire
  - Flux de lecture/écriture de différents types
    - int, char ... ou bien encore un objet quelconque (Object)
    - Données codées indépendamment de la plate-forme/système

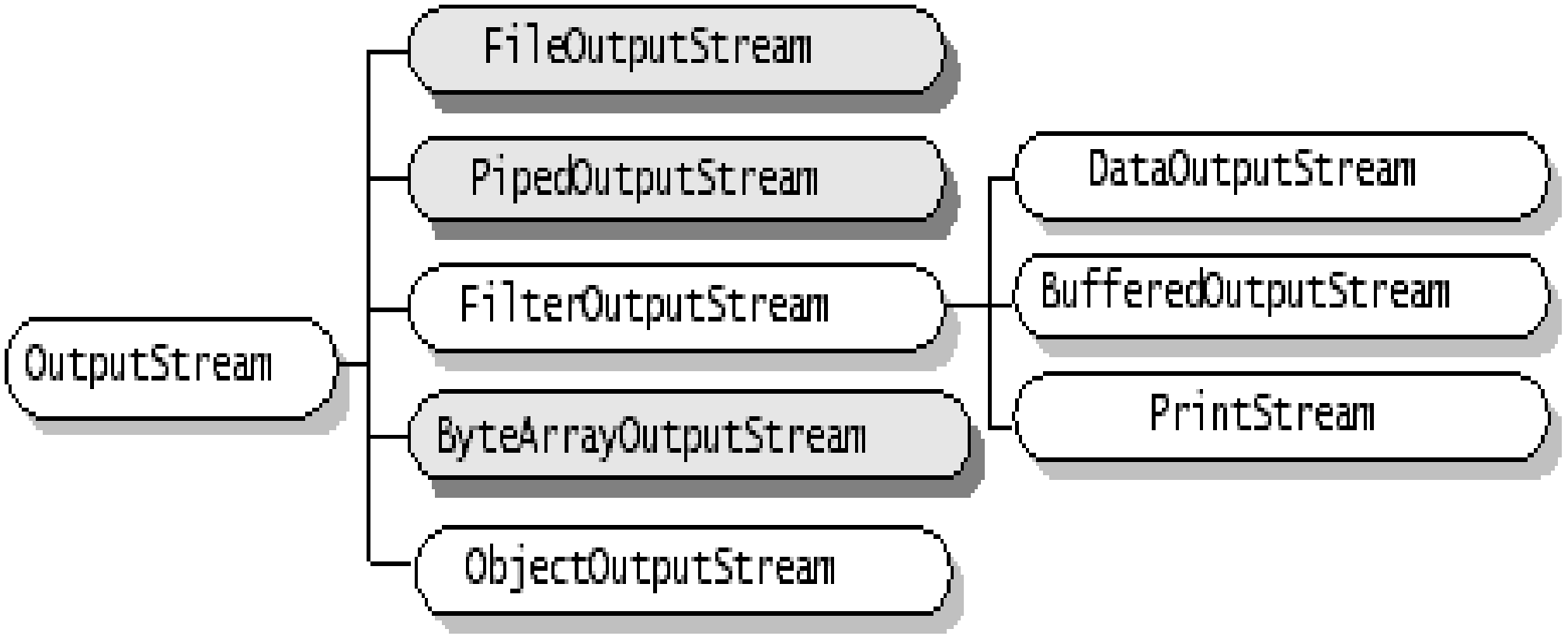
Hiérarchie de flux Java

- Flux binaire, entrée



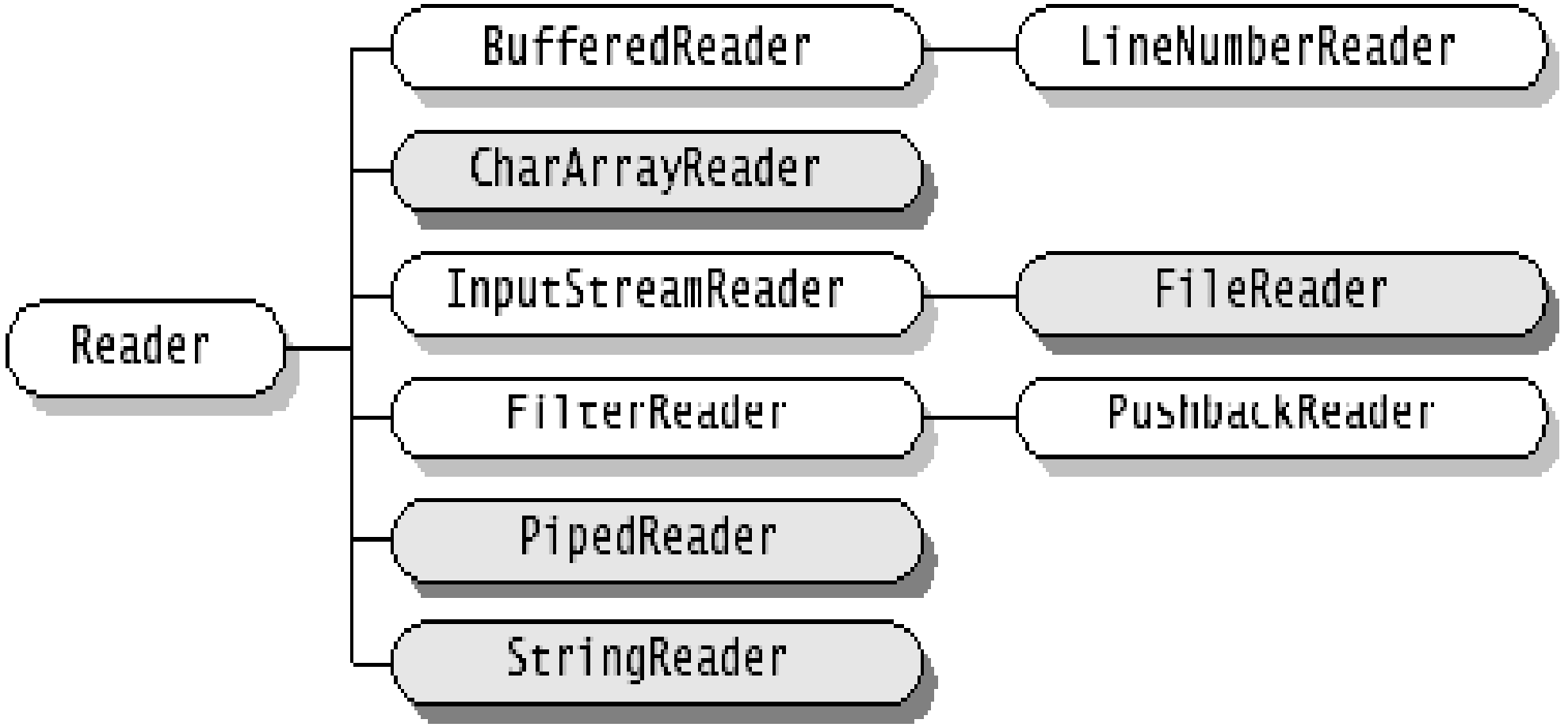
Hiérarchie de flux Java

- Flux binaire, sortie



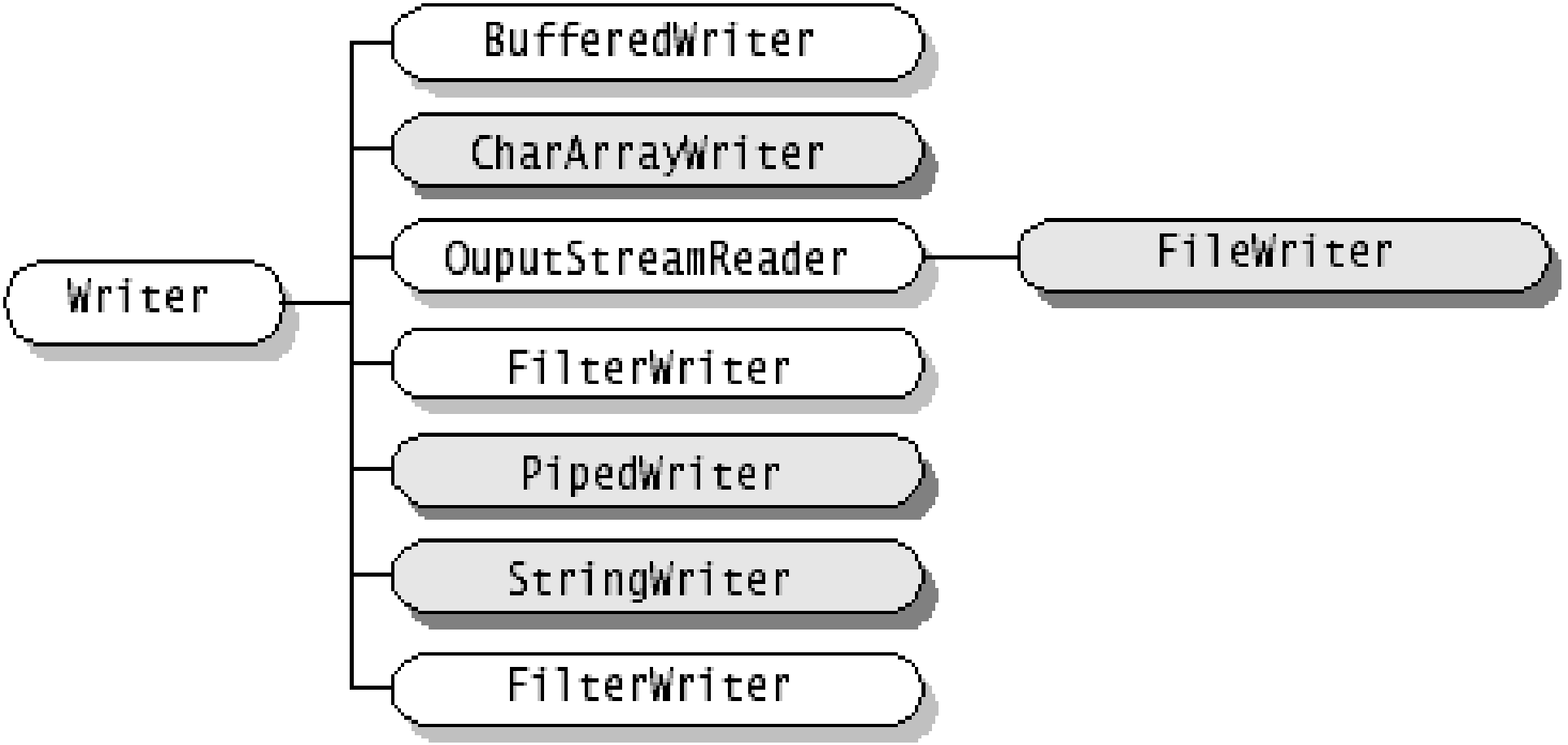
Hiérarchie de flux Java

- Flux caractère, entrée



Hiérarchie de flux Java

- Flux caractère, sortie



Hiérarchie de flux Java

- Autres types de flux
  - Package `java.util.zip`
    - Compression données : `GZIPInputStream`, `ZipInputStream` ...
    - Vérification intégrité données (CRC) : `CheckedInputStream` ...
  - Package `javax.crypto`
    - Cryptage des données : `CipherInputStream` ...
  - Et d'autres ...
- Les flux peuvent être dépendants les uns des autres
  - Un flux est créé à partir d'un autre (par « wrapping ») : il traite les mêmes données mais avec un traitement supplémentaire
    - Codage des données dans un autre type
    - Filtrage des données, mise en tapon ...
  - Un flux est chaîné à un autre par un pipe

Méthodes des classes Stream

- Méthodes générales d'accès aux données du flux
  - Flux en entrée (InputStream)
    - `int read()`
      - Lecture d'un octet (sous forme de int) dans le flux
    - `int read(byte[] tab)`
      - Lit une suite d'octets en les plaçant dans `tab`
      - Lit au plus la longueur de `tab`
      - Retourne le nombre d'octets lu
    - Autres méthodes pour se placer à un endroit donné du flux ...
    - `int available()`
      - Retourne le nombre d'octets disponibles en lecture dans le flux
    - `void close()`
      - Ferme le flux

Méthodes des classes Stream

- Méthodes générales d'accès aux données du flux
  - Flux en sortie (OutputStream)
    - `void write(int b)`
      - Écrit un octet (via un int) dans le flux
    - `void write(byte[])`
      - Écrit le contenu d'un tableau d'octets dans le flux
    - `void flush()`
      - Force l'écriture dans le flux de toutes les données à écrire
        - Vide le tampon associé au flux en écrivant son contenu
    - `void close()`
      - Ferme le flux
  - Flux en entrées ou sorties
    - Méthodes générales : accès niveau octet

Méthodes des classes Stream

- Classes de flux spécialisées
  - Offrent des méthodes d'accès plus évoluées que niveau octet
  - Deux types de flux intéressants de ce point de vue
    - Data[Input/Output]Stream
      - Lecture/écriture de types primitifs Java
        - int, char, boolean, double, long, byte, float, short
      - Exemple pour double
        - DataOutputStream : `void writeDouble(double b)`
        - DataInputStream : `double readDouble()`
    - Object[Input/Output]Stream
      - Lecture/écriture d'objets de toute nature
        - Très puissant et confortable
      - ObjectOutputStream : `void writeObject(Object o)`
      - ObjectInputStream : `Object readObject()`

Méthodes des classes Stream

- Data[Input/Output]Stream (suite)
  - Exemple : écriture d'un objet de la classe Personne (classe programmée n'appartenant pas à la hiérarchie Java)
    - ```
      Personne pers = new Personne (''toto'', 24);
      ObjectOutputStream output = .... ;
      output.writeObject(pers);
      ```
- Pour pouvoir envoyer un objet dans un flux
  - Sa classe doit implémenter l'interface `java.io.Serializable`
  - Interface vide qui sert juste à préciser qu'on autorise les objets de cette classe à être sérialisés
    - C'est-à-dire peuvant être transformés en série de byte et donc transmissibles via des flux
      ```

Méthodes des classes Stream

- Exceptions niveau flux
  - La plupart des méthodes d'accès aux flux peuvent lever l'exception `java.io.IOException`
    - Problème quelconque d'entrée/sortie ...
- Constructeurs : fonctionnement classique
  - Créer/récupérer un flux associé à une ressource physique (fichier, zone mémoire, socket …)
  - Passer ce flux en paramètre du constructeur d'un flux de type données (Data/Object) pour gérer le type des données transitant par la ressource physique
  - Exemple : créer un `ObjectOutputStream` à partir d'un `FileOutputStream` associé au fichier test.bin
    - ```
      FileOutputStream fileOut=
                      new FileOutputStream(''test.bin'');
      ObjectOutputStream objOut =
                           new ObjectOutputStream(fileOut);
      // peut maintenant enregistrer tout objet dans test.bin via objOut
      ```
      ```

Exemple utilisation de flux Java

- Exemple concret d'utilisation de flux
  - Écriture d'entiers dans un fichier

```
// ouverture d'un flux en sortie sur le fichier entiers.bin
FileOutputStream ficOut =
                    new FileOutputStream("entiers.bin");

// ouverture d'un flux de données en sortie à partir de ce flux
DataOutputStream dataOut =
                          new DataOutputStream(ficOut);

// écriture des entiers de 10 à 15 dans le fichier
for(int i=10;i<16;i++)
     dataOut.writeInt(i);

// fermeture des flux
dataOut.close();
ficOut.close();
```

Exemple utilisation de flux Java

- Exemple concret d'utilisation de flux
  - Lecture d'entiers à partir d'un fichier

```
// ouverture d'un flux en entrée sur le fichier entiers.bin
FileInputStream ficIn =
                    new FileInputStream("entiers.bin");

// ouverture d'un flux de données en entrée à partir de ce flux
DataInputStream dataIn = new DataInputStream(ficIn);

// tant que des données sont disponibles, on lit des entiers
while(dataIn.available() > 0)
     System.out.println(dataIn.readInt());

// fermeture des flux
dataIn.close();
ficIn.close();
```

Concurrence dans une application

Threads Java

Concurrence

- Java offre nativement un mécanisme permettant de gérer des flux d'exécution parallèle
  - Les threads
- Rappel différence processus/thread
  - Le processus est créé comme une copie d'un processus existant
    - Deux processus distincts avec leur zone mémoire propre
  - Le thread s'exécute au sein d'un processus existant
    - Nouveau flux d'exécution interne
    - Partage des données du processus

Threads en Java

- Pour créer et lancer un nouveau thread, 2 modes
  - Étendre la classe `java.lang.Thread`
    - Redéfinir la méthode `public void run()`
      - Qui contient la séquence de code qu'exécutera le thread
    - Pour lancer le thread
      - Instancier normalement la classe définie
      - Appeler ensuite la méthode `start()` sur l'objet créé
  - Implémenter l'interface `java.lang.Runnable`
    - Définir la méthode `public void run()` de cette interface
      - Qui contient la séquence de code qu'exécutera la thread
    - Pour lancer le thread
      - Instancier normalement la classe définie
      - Créer une instance de la classe Thread en passant cet objet en paramètre
      - Lancer la méthode `start()` du thread instancié

Thread Java – exemple

- Classe CalculFactoriel calcule un factoriel et affiche le résultat à l'écran
  - Via un thread à part

```
public class CalculFactoriel extends Thread {

protected int nb;

public void run(){
     int res = 1;
     for (int i=1; i<=nb; i++)
          res = res * i;
     System.out.println(''factoriel de ''+nb+''=''+res);
}

public CalculFactoriel(int nb) {
     this.nb = nb;  }
}
```

Thread Java – exemple

- Lancement du calcul des factoriels de 1 à 10 en parallèle
  - ```
    ...
    CalculFactoriel cf;
    for (int i=10; i >= 1; i--) {
        cf = new CalculFactoriel(i);
        cf.start();
    }
    ...
    ```
- Deux phases pour lancer un calcul
  - On instancie normalement la classe CalculFactoriel
  - On appelle la méthode `start()` sur l'objet créé
    - La séquence d'instructions de la méthode `run()` de la classe CalculFactoriel est exécutée via un nouveau thread créé
    ```

Thread Java – variante exemple

- Même exemple mais sans spécialiser la classe Thread
  - Implémentation de l'interface Runnable

```
public class CalculFactoriel implements Runnable {

protected int nb;

public void run(){
     int res = 1;
     for (int i=1; i<=nb; i++)
          res = res * i;
     System.out.println(''factoriel de ''+nb+''=''+res);
}

public CalculFactoriel(int nb) {
     this.nb = nb;  }
}
```

Thread Java – variante exemple

- Lancement des threads
  - ```
    ...
    CalculFactoriel cf;
    for (int i=10; i >= 1; i--) {
        cf = new CalculFactoriel(i);
        (new Thread(cf)).start();
    }
    ...
    ```
  - On lance un Thread générique qui exécutera la méthode `run()` de l'objet de type Runnable passé en paramètre du constructeur
    ```

Thread Java – création

- 2 méthodes pour créer et exécuter un thread
  - Laquelle choisir ?
  - A priori peu de différence
  - Sauf dans le cas où la classe doit hériter d'une autre classe
    - Cas typique d'une applet
      - `public MaClasse extends Applet implements Runnable`
    - Doit alors forcément utiliser l'interface Runnable

Thread Java – résultat exemple

- (un) résultat de l'exécution du programme
  - ```
    factoriel de 10=3628800
    factoriel de 9=362880
    factoriel de 8=40320
    factoriel de 7=5040
    factoriel de 6=720
    factoriel de 5=120
    factoriel de 4=24
    factoriel de 3=6
    factoriel de 2=2
    factoriel de 1=1
    ```
  - Les résultats des calculs sont affichés dans l'ordre de leur lancement
    - Pourtant les calculs de petites valeurs sont normalement plus courts car moins de passages dans la boucle ...
    ```

Ordonnancement des threads

- Ordonnancement des processus/threads
  - Sur une machine, nombre de flots d'exécution en réel parallélisme = nombre de processeurs
  - Les processus/threads doivent partager les supports d'exécution pour s'exécuter
  - Pour simuler un parallélisme d'exécution avec un seul processeur
    - Un processus/thread n'est pas exécuté du début à la fin en une seule étape
    - Un processus/thread exécute une partie de ses instructions pendant un temps donné avant de passer la main à un autre processus
    - Plus tard, il retrouvera la main et continuera son exécution

Ordonnancement des threads

- Dépendance thread/processus
  - Un thread est créé par et dans un processus
  - Selon le système d'exploitation, l'ordonnancement se fait
    - Uniquement au niveau processus
      - Le système s'occupe de gérer uniquement le parallélisme des processus
      - Un processus gère en interne l'ordonnancement de ses propres threads
    - Au niveau de tous les threads et processus
      - Les threads des processus et les processus sont ordonnancés par le système
    - Approche mixte
      - L'ordonnancement se fait au niveau processus mais certains threads particuliers peuvent être ordonnancés par le système au même niveau que les processus

Ordonnancement des threads

- Deux types d'ordonnancement par le système (ou par le processus pour ordonnancer ses threads)
  - Préemptif
    - Le système interrompt l'exécution des processus/threads pour partager l'accès au processeur
    - Le système décide quel est le prochain processus/thread qui continuera son exécution
  - Coopératif
    - Un processus/thread ne libère le processeur que
      - Quand il est bloqué momentanément (entrée/sortie ...)
      - De sa propre initiative
    - Le système décide alors quel est le prochain processus/thread qui continuera son exécution

Ordonnancement des threads Java

- Ordonnancement des threads en Java
  - Exécution d'une machine virtuelle Java
    - Via un processus du système d'exploitation
    - Qui exécute plusieurs threads Java
      - Le thread principal
        - Correspondant au `static void main(String argv[])`
      - Les threads créés par le programme
      - Les threads gérant l'interface graphique
      - Garbage collector ...
- Particularité de Java
  - Langage multi-plateformes (Windows, Linux, macOS, Solaris, ...)
  - L'ordonnancement des processus/threads dépend du système d'exploitation

Ordonnancement des threads Java

- Principe fondamental
  - On ne doit pas se baser sur un modèle d'ordonnancement particulier pour développer une application multi-threadée en Java
- Par principe, on considèrera le modèle le plus contraignant
  - Généralement c'est l'ordonnancement coopératif des threads Java
  - Si on veut un parallélisme « correct », tout thread doit relâcher la main de temps en temps
    - Sans oublier qu'en cas de synchronisation/communication obligatoire entre threads, il faut que tout thread ait la main régulièrement

Ordonnancement des threads

- Les threads peuvent avoir des priorités différentes
  - Un thread plus prioritaire a la main en priorité
    - Si un thread de plus haute priorité que le thread courant actif veut la main, il la récupère alors de suite via un ordonnancement préemptif
- Accès aux priorités, méthodes de la classe Thread
  - `public int getPriority()` : retourne le niveau de priorité du thread
  - `public void setPriority(int priority)` : change le niveau de priorité du thread
- Trois constantes de la classe Thread pour définir les priorités
  - MAX_PRIORITY : niveau de priorité maximal possible (10)
  - MIN_PRIORITY : niveau de priorité minimal possible (1)
  - NORM_PRIORITY : niveau de priorité par défaut (5)

Ordonnancement des threads Java

- Retour sur l'exemple du calcul de factoriel
  - Une fois que la méthode `run()` d'un thread est commencée, on doit donc supposer que ce thread garde au pire le processeur jusqu'à la fin de sa méthode `run()`
  - Pour avoir un meilleur parallélisme, il faut qu'un thread passe la main à un autre thread de temps en temps
  - Dans la classe `java.lang.Thread`
    - `public static void yield()`
    - Le thread s'interrompt et passe la main à un autre thread
  - Modification de l'exemple
    - Ajout d'un `yield()` après chaque calcul dans `run()`

```
for (int i=1; i<=nb; i++) {
    res = res * i;
    Thread.yield(); }
```

Thread Java – nouveau résultat exemple

- (un) résultat d'exécution de l'exemple après la modification
  - ```
    factoriel de 1=1
    factoriel de 2=2
    factoriel de 3=6
    factoriel de 4=24
    factoriel de 5=120
    factoriel de 6=720
    factoriel de 7=5040
    factoriel de 8=40320
    factoriel de 9=362880
    factoriel de 10=3628800
    ```
  - Bien que lancés en dernier, les calculs les plus courts se terminent en premier
    - Ordonnancement plus « naturel » que le précédent
      - Correspond à ce que l'on aurait avec un parallélisme physique complet
    - Mais aurait pu avoir un ordre moins « parfait »
      - 1, 2, 4, 3, 5, 7, 6, 8, 9, 10 par exemple
    ```

Ordonnancement des threads

- Un thread passe la main à un autre dès qu'il est bloqué ou en attente, c'est-à-dire dans les cas suivants
  - Il est bloqué en attente sur une entrée/sortie (flux)
  - Il est bloqué sur l'accès à un objet synchronisé
  - Il se met en attente avec un `wait()`
  - Il fait une pause pendant une certaine durée avec un `sleep()`
  - Il a executé un `yield()` pour céder explicitement la main
  - Il se met en attente de la terminaison d'un autre thread avec un `join()`
  - Il se termine
  - Un thread de plus haute priorité demande la main
- Une application Java se termine quand
  - Le `main()` et tous les `run()` de tous les threads créés sont terminés

Interactions entre threads

- Les threads sont des objets comme les autres
  - Ils possèdent des références sur d'autres objets
  - Un thread peut appeler des méthodes sur ces objets
  - On peut appeler des méthodes sur le thread
  - Communication/interaction possible via ces objets ou les méthodes du thread
    - Avec mécanisme possible d'accès en exclusion mutuelle
- Relations entre les cycles de vie des threads
  - Un thread peut lancer un autre thread
  - Un thread peut attendre qu'un ou plusieurs threads se terminent
  - Un thread peut se bloquer et attendre d'être réveillé par un autre thread

Interactions entre threads

- Communication par objet partagé
  - Les threads s'exécutent dans la même machine virtuelle, dans le même espace mémoire
    - Accès possible aux mêmes objets
  - Modification de l'exemple précédent pour ne plus afficher les résultats mais les stocker dans un tableau auquel tous les threads ont accès

```
public class CalculFactoriel
{
    protected int[] tab;
    protected int nb;

    public void run(){
        int res = 1;
        for (int i=1; i<=nb; i++)
            res = res * i;
    //enregistre le résultat dans tableau
    tab[nb - 1] = res;
}
```

Interactions entre threads

- Modification du constructeur pour passer le tableau partagé en paramètre

```
public CalculFactoriel(int nb, int[] tab) {
     this.nb = nb;
     this.tab = tab;  }
```

- Nouveau lancement des threads dans le thread principal

```
int[] resultats = new int[10];
CalculFactoriel cf;
for (int i=10; i >= 1; i--) {
     cf = new CalculFactoriel(i, resultats);
     (new Thread(cf)).start();
}
```

- Avant d'afficher les résultats : doit attendre que tous les threads soient terminés

Interactions entre threads

- Un thread attend qu'un thread se termine via la méthode `join()` appellée sur le thread dont on attend la fin
  - Pour l'exemple, le thread principal doit attendre que tous les threads lancés soient terminés

```
int[] resultats = new int[10];
CalculFactoriel[] tabCF = new CalculFactoriel[10];
CalculFactoriel cf;
// lance les threads
for (int i=10; i>=1; i--) {
     cf = new CalculFactoriel(i, resultats);
     tabCF[i-1] = cf;
     cf.start(); }

// attend la fin de chaque thread
for (int i=0; i < 10; i++) {
     try { tabCF[i].join(); }
     catch(InterruptedException e) {System.err.println(e);}
 }
```

Interactions entre threads

- Modification exemple (suite)
  - Une fois la boucle avec les `join()` passée, on est certain que tous les threads de calcul sont finis
    - Peut alors afficher les résultats

```
for (int i=1; i<=10; i++)
    System.out.println(" factoriel de "
                       +i+"="+resultats[i-1]);
```

- Trois méthodes de la classe Thread pour attendre la terminaison d'un thread
  - `public void join()` : attend la fin du thread
  - `public void join(int milli)` : attend au plus `milli` millisecondes
  - `public void join(int milli, int nano)` : attend au plus `milli` millisecondes et `nano` nanosecondes

Interactions entre threads

- Méthodes `join()` (suite)
  - Les 3 méthodes `join()` peuvent lever l'exception `java.lang.InterruptedException`
    - Si exception levée : signifie que l'attente du thread a été interrompue et qu'il reprend son activité
      - Pour arrêter l'attente d'un thread : appel de la méthode `public void interrupt()` sur le thread
  - Interrogation sur l'état d'un thread
    - `public boolean isInterrupted()` : retourne vrai si le thread a été interrompu dans son attente
    - `public boolean isAlive()` : retourne vrai si le thread est en vie (démarré mais pas encore terminé)

Synchronisation sur objets

- Tableau partagé de l'exemple
  - Chaque thread écrit dans sa case du tableau
  - Pas de risque de conflit dans ce cas
- Mais attention aux accès concurrents à des objets partagés
  - Peut conduire à des incohérences
    - Si 2 threads modifient en même temps le même objet par ex.
    - En pratique, sur une machine mono-processeur, un seul thread est actif en même temps
    - Mais un thread peut commencer une méthode, passer la main à un autre thread qui modifiera l'état de l'objet
      - Le premier thread reprend alors l'exécution de la méthode avec un état différent et incohérent

Synchronisation sur objets

- Exemple de code pouvant poser problème

```
public class CalculPuissance {

protected int puissance = 1;

public int calculPuissance(int val) {
     int res = val;
     for (int i=1; i<puissance; i++)
          res = res * val;
     return res;
}
public setPuissance(int p) {
          puissance = p;
} }
```

  - Doit prendre en compte le cas d'ordonnancement le plus mauvais
    - Ordonnancement préemptif des threads dans ce cas précis

Synchronisation sur objets

- Exemple (suite)
  - Lancement d'un calcul de puissance

```
CalculPuissance cp = new CalculPuissance();
... // passage de la référence de cp à d'autres threads
cp.setPuissance(3);
int resultat = cp.calculPuissance(2);
System.out.println(" puissance 3 de 2 = "+resultat);
```

  - Problème
    - Si pendant l'exécution de `calculPuissance()`, un autre thread appelle `setPuissance()`, le calcul sera faux !
    - Exemple avec un autre thread appelant `setPuissance()` avec la valeur 4 *pendant* l'exécution de `calculPuissance()`

```
puissance 3 de 2 = 16
```

    - Valeur 16 renvoyée au lieu de 8 ...
      - Car l'attribut `puissance` est passé à la valeur 4 au milieu de la boucle

Synchronisation sur objets

- Primitive `synchronized`
  - Elle s'applique par rapport à un objet (n'importe lequel)
  - Exclusion mutuelle sur une séquence de code
    - Il est impossible que 2 threads exécutent en même temps une section de code marquée `synchronized` pour un même objet
    - Sauf si un thread demande explicitement à se bloquer avec un `wait()`
- Deux utilisations de `synchronized`
  - Sur la méthode d'une classe (s'applique à tout son code pour un objet de cette classe)

```
public synchronized int calculPuissance(int val)
```

  - Sur un objet quelconque

```
synchronized(cp) {
    // zone de code protégée sur l'objet cp
}
```

Synchronisation sur objets

- Retour sur l'exemple
  - Suppression de l'erreur potentielle de calcul
  - On rajoute `synchronized` dans la définition des méthodes

```
public synchronized int calculPuissance(int val) {
     int res = val;
     for (int i=1; i<puissance; i++)
          res = res * val;
     return res;
}
public synchronized setPuissance(int p) {
          puissance = p;
}
```

  - Il est alors impossible qu'un thread modifie la valeur de `puissance` lorsqu'un calcul est en cours
    - Car `synchronized` interdit que `setPuissance()` soit exécutée tant que l'exécution d'un `calculPuissance()` n'est pas finie

Synchronisation sur objets

- Exemple du calcul de puissance (suite)
  - Il reste un problème potentiel de cohérence, pour la séquence de lancement du calcul

```
CalculPuissance cp = new CalculPuissance();
... // passage de la référence de cp à d'autres threads
cp.setPuissance(3);
// un autre thread peut appeler ici setPuissance
// avec la valeur de 4 avant que le calcul soit lancé
cp.setPuissance(4); // exécuté dans un autre thread
int resultat  = cp.calculPuissance(2);
System.out.println(" puissance 3 de 2 = "+resultat);
```

  - Le résultat affiché sera là encore 16 au lieu de 8
    - Calcul effectué correctement cette fois mais ce n'est pas celui qui était voulu par le thread !

Synchronisation sur objets

- Exemple du calcul de puissance (suite)
  - Pour éviter ce problème, il faut protéger la séquence de positionnement de la puissance puis du calcul

```
CalculPuissance cp = new CalculPuissance();
int resultat;

... // passage de la référence de cp à d'autres threads

synchronized(cp) {
     cp.setPuissance(3);
     resultat  = cp.calculPuissance(2); }
System.out.println(" puissance 3 de 2 = "+resultat);
```

  - Avec ce code, il est impossible qu'un autre thread exécute sur l'objet `cp` la méthode `setPuissance()` entre le `setPuissance()` et le `calculPuissance()`

Synchronisation sur objets

- Exemple du calcul de puissance (fin)
  - Avec ce nouveau code, il y a trois sections de code protégées sur l'objet `cp`, avec un accès en exécution en exclusion mutuelle
    - Le code de la méthode `setPuissance()`
    - Le code de la méthode `calculPuissance()`
    - La séquence

```
synchronized(cp) {
        cp.setPuissance(3);
        resultat = cp.calculPuissance(2); }
```

  - Si un thread est en train d'exécuter une de ces 3 sections protégées sur l'objet `cp`
    - Aucun autre thread ne peut exécuter une des 3 sections protégées tant que le premier thread n'a pas fini d'exécuter sa section protégée
  - Note
    - La séquence de code inclue dans le `synchronized(cp) {...}` ne contient que des références à `cp` mais ce n'est pas une obligation

Synchronisation sur objets

- Pour des variables de types primitifs (int ...) en accès concurrent, on utilise `volatile`
  - Le problème n'est pas forcément dans la possible incohérence en lecture/écriture
  - Mais vient du fonctionnement des threads
    - Localement, un thread gère une copie d'une variable partagée
    - La déclarer comme `volatile` force à garder la cohérence entre la copie locale et la variable partagée
  - Exemple

```
protected volatile int nb;

public int incNb() { return nb++; }
```

    - Assure que si un thread exécute `incNb()` il utilise la valeur de `nb` la plus à jour

Synchronisation entre threads

- Problème courant
  - Besoin d'un point de synchronisation entre threads
    - Un thread fait un calcul et un autre thread attend que le résultat de ce calcul soit disponible pour continuer son exécution
    - Solution basique : déclarer un booléen available qui sera mis à vrai quand le résultat est disponible

```
public class ThreadCalcul extends Thread {

protected boolean available;
protected int result;

public boolean getAvailable() {
   return available;}

public int getResult() { return result; }

public void run() {
   // faire calcul, mettre result à jour et préciser
   // que le résultat est disponible
   available = true;
   // continuer l'exécution du thread  }
}
```

Synchronisation entre threads

- Du coté du thread attendant le résultat
  - Solution basique
    - Vérifier en permanence la valeur de `available`

```
ThreadCalcul calcul;
// calcul lancé avec référence sur bon thread
...
// boucle attendant que le résultat soit disponible
while (!calcul.getAvailable()) {
// fait rien, juste attendre que available change
}
int res = calcul.getResult();
```

  - Problème
    - Attente active
      - Le thread qui fait la boucle peut ne jamais lâcher la main
      - L'autre thread ne peut donc pas faire le calcul !

Synchronisation entre threads

- Pour éviter problème de l'attente active
  - Soit le thread passe la main avec un `yield()` dans la boucle
    - Mais reste très actif pour pas grand chose ...
  - Dans la boucle, le thread peut faire des pauses
- Pause d'un thread : sleep dans la classe Thread
  - `public static void sleep(long millis[, int nanos]) throws InterruptedException`
    - Le thread courant fait une pause de `millis` millisecondes [et `nanos` nanosecondes]
    - Pendant cette pause, un autre thread peut alors prendre la main
    - L'exception `InterruptedException` est levée si le thread a été interrompu pendant sa pause

Synchronisation entre threads

- Modification de la boucle d'attente avec un sleep

```
while (!calcul.getAvailable()) {
     try {
          Thread.sleep(100); }
     catch (java.lang.InterruptedException e) { ... }
     }
}
int res = calcul.getResult();
```

- Problèmes
  - Combien de temps doit durer la pause ?
  - On est pas averti dès que le calcul est fini
- Solution idéale
  - Se mettre en pause et être réveillé dès que le résultat est disponible
  - Programmation en mode « réactif » : réaction/réveil sur événements, jamais d'attente ou de vérification active

Synchronisation entre threads

- Synchronisation par moniteur
  - Dans une section de code protégée par un synchronized, trois primitives de synchronisation sur un objet
    - `public void wait() throws InterruptedException`
      - Le thread se bloque
      - Il permet alors à un autre thread d'exécuter une séquence de code protégée sur l'objet
        - C'est le seul cas où un thread peut exécuter une séquence protégée alors qu'un autre thread n'a pas terminé son exécution
      - Il existe 2 variantes permettant de rester bloquer au plus un certain temps
    - `public void notify()`
      - Débloque un thread bloqué (pris au hasard si plusieurs thread bloqués) sur un `wait()` sur cet objet
    - `public void notifyAll()`
      - Débloque tous les threads bloqués sur un `wait()` sur cet objet

Synchronisation entre threads

- Synchronisation par moniteur
  - `wait()`, `notify()` et `notifyAll()` sont des méthodes de la classe `java.lang.Object`
- Application à l'exemple précédent
  - Thread faisant le calcul

```
public class ThreadCalcul extends Thread {

protected boolean available;
protected int result;

public synchronized boolean getAvailable() {
     return available;
}
```

Synchronisation entre threads

- Thread faisant le calcul (suite)

```
public void run() {
    // faire le calcul, mettre result à jour et
    // préciser que le résultat est disponible
    synchronized(this) {
        available = true;
        this.notifyAll();
    }// continuer l'exécution du thread  }

    // opération de récupération du résultat, si pas
    // encore disponible, on attend qu'il le soit
    public synchronized getResult() {
        while (!this.getAvailable())
            try { this.wait(); }
            catch (InterruptedException e) {... } } }
```

- Thread attendant le résultat

```
int res = calcul.getResult();
```

  - Si le résultat n'est pas disponible, on sera bloqué en attendant le notify exécuté par le thread de calcul

Cycle de vie d'un thread

- Thread
  - Objet ayant son propre flot d'exécution
- États, opérations associés aux threads
  - Créé : instanciation standard d'un objet Java
  - Démarré et actif : après appel de la méthode `start()`
    - Son propre flot d'exécution est crée et lancé
  - En pause : méthode `sleep()`
  - Bloqué sur un objet synchronisé : méthode `wait()`
    - Réveillé par un `notify()` sur le même objet
  - Attente de la terminaison d'un autre thread : méthode `join()`
  - Interrompu pendant une pause sur un `wait()`, `sleep()` ou un `join()` par l'appel de `interrupt()`
    - L'exception `InterruptedException` est levée
  - Terminé : arrivé à la fin de sa méthode `run()`

Usage des threads

- Pourquoi et quand utiliser des threads ?
  - Certains cas imposent des threads
    - Pour entrées/sorties, les lectures sont généralement bloquantes
      - On dédie un ou plusieurs threads aux réceptions pour gérer des réceptions multiples, ainsi que d'éviter de bloquer le programme
      - Les threads de lecture communiquent par synchronisation/objets communs avec les autres threads
    - Les interfaces graphiques utilisent également des threads, généralement de hautes priorités
      - Peut gérer des événements graphiques (clics ...) venant de l'utilisateur alors que le programme effectue d'autres traitements
  - Généralisation des processeurs multi-cores, multi-threads
    - Gain de performances en parallélisant le code de l'application, notamment pour les calculs longs
    - Nécessite de revoir la façon de programmer un calcul

Usage des threads

- Points délicats en programmation multi-threadée
  - Éviter les famines : un thread n'a jamais la main
    - Ne jamais utiliser d'attente active
    - S'assurer qu'un thread passe la main suffisamment
    - Ne pas avoir des threads de haute priorité beaucoup trop actifs
  - Éviter les interblocages
    - Un thread T1 attend le résultat d'un thread T2 qui attend lui le résultat du thread T1
      - Si chacun se bloque sur un `wait()`, aucun ne pourra faire le `notify()` réveillant l'autre
    - Interblocage peut se passer via une chaîne de plusieurs threads interdépendants
      - Pas toujours simple à détecter si dépendances complexes

Usage des threads

- Problèmes de performances en cas d'utilisation massive de threads
  - Relativement coûteux de créer un thread à chaque requête
    - En temps de création et de destruction par le garbage collector
    - Pool de thread : ensemble de threads déjà créés et qui peuvent être réutilisés pour traiter de nouvelles requêtes
      - La méthode run() est une boucle qui traite une requête à chaque passage
      - Avec la synchronisation (wait/notify) on peut relancer un passage dans la boucle pour traiter une nouvelle requête
      - Attention à la taille du pool selon le nombre de requêtes simultanées à traiter
  - Éviter de définir des méthodes en synchronized prenant un temps relativement long à s'exécuter et étant souvent appelées

Parallélisation

- Dans le cas d'un calcul/traitement pouvant être découpé en sous-parties indépendantes
  - Java propose le framework « fork and join »
  - Des threads sont créés pour chaque sous-partie (fork)
    - De manière récursive au besoin
  - Un thread ayant créé des threads attend la fin de ses sous-threads (join)
- Illustration par l'exemple
  - On dispose d'un grand tableau de nombres réels
  - On veut appliquer le même calcul sur chaque case et créer un tableau de même taille avec les résultats
  - On définit un seuil en termes de nombre de cases
    - Si le tableau à traiter à une taille supérieure au seuil, on crée deux sous-threads à qui on passe une moitié du tableau à traiter
    - Si la taille est inférieure au seuil, on fait les calculs sur toutes les cases du (sous-)tableau

Parallélisation

```
// La classe doit hériter de ResursiveAction, équivalent de Thread pour un
// thread classique
public class CalculFork extends RecursiveAction {

    // Le tableau source
    private double[] source;
    // Le tableau cible qui contiendra les résultats
    private double[] cible;

    // L'index de début de la partie du tableau à traiter
    private int debut;
    // L'index de fin de la partie du tableau à traiter
    private int fin;

    // Le seuil pour savoir si on dédouble ou on fait le calcul
    private int seuil;

    public CalculFork(int debut, int fin, int seuil, double[] source, double[] cible) {
        this.source = source;
        this.cible = cible;
        this.debut = debut;
        this.fin = fin;
        this.seuil = seuil;
    }
```

Parallélisation

```
// Méthode qui fait le calcul sur la partie du tableau que le thread doit traiter
private void calculSequentiel() {
   for (int i = debut; i < fin; i++)
      // un calcul quelconque …
      cible[i] = Math.pow(Math.log10(Math.sqrt(source[i])), 1000);
}

// La méthode compute() est équivalente à run() pour la classe Thread,
// c'est elle qui est appelée dans le thread créé et lancé
@Override
protected void compute() {
   // Calcul de la taille de la partie du tableau à traiter
   int taille = fin - debut;

   // Si la taille est inférieure au seuil, on réalise le calcul puis on se termine
   if (taille < seuil) {
      calculSequentiel();
      return;
   }
   // Sinon on crée deux sous-calculs avec chaque demi-partie de la partie du tableau
   // à traiter. Le invokeAll lance un thread pour chacun de ces calculs
   // et attend qu'ils se terminent
   int milieu = taille / 2;
   invokeAll(new CalculFork(debut, debut + milieu, seuil, source, cible),
             new CalculFork(debut + milieu, fin, seuil, source, cible));
}
```

Parallélisation

```
public static void main(String argv[]) {

    // La taille du tableau
    int taille = 50000000;
    // Le seuil pour déboubler dans deux sous-threads
    int seuil = 2000000;

    // On génère/obtient les deux tableaux d'une manière quelconque
    double source[] = generationSource(taille);
    double cible[] = generationCible(taille);

    long debut = System.currentTimeMillis();

    // On crée le calcul principal sur l'intégralité du tableau
    CalculFork calcul = new CalculFork(0, taille, seuil, source, cible);

    // On crée le gestionnaire du pool de threads …
    ForkJoinPool pool = new ForkJoinPool();
    // … et on lance le calcul
    pool.invokeAll(calcul);

    long temps = System.currentTimeMillis() - debut;
    System.out.println(" Temps d'exécution : " + temps);
  }
}
```

Parallélisation

- Test de performances
  - CPU : Intel i7-3540M, 3,0–3,7Ghz, dual-core, deux threads par core
    - 4 threads matériellement en exécution parallèle
  - Pour 50 millions de cases et un seuil de 2 millions
    - En pur séquentiel : autour de 4,1 secondes
    - Avec parallélisme : autour de 1,3 secondes
    - Plus de 3 fois plus rapide en profitant des 4 supports matériels d'exécution de threads du processeur
- Autres fonctionnalités autour des threads Java
  - Accès concurrents à des listes ou autres collections, avec gestion de la concurrence en écriture
  - File d'attente bloquante producteur/consommateur
  - Verrous sur des ressources partagées
  - Tris parallélisés
  - ...