UNIVERSITÉ PARIS-EST Marne-la-Vallée

Applications réseaux

Nouvelles entrées-sorties « java.nio »

Canaux et mode non-bloquant

Etienne Duris

Bibliographie et sources

- *Java et Internet*
  G. Roussel, E. Duris, N. Bedon et R. Forax. Vuibert 2002.
- Les cours de Rémi Forax
  `http://igm.univ-mlv.fr/~forax/`
- Documentations Java Oracle
  `http://docs.oracle.com/javase/`
- Java Network Programming, Third Edition, Elliotte Rusty Harold, O'Reilly

Les nouvelles entrées-sorties en Java

- Depuis SDK 1.4, java.nio.* NIO (*New Input Output*)
  - Gestion plus fine de la mémoire
  - Gestion plus performante des entrées-sorties
  - Gestion simplifiée des différents jeux de caractères
  - Interaction plus fine avec le système de fichiers
  - Utilisation d'entrées-sorties non bloquantes *(plus tard)*
- Nouveaux concepts dans les entrées-sorties en Java
  - ***Buffers*** (tampons mémoire) java.nio.*
  - ***Charsets*** (jeux de caractères) java.nio.charset.*
  - ***Channels*** (canaux) java.nio.channels.*

Les tampons mémoire *(buffers)*

- Utilisés par les primitives d'entrées-sorties de java.nio
  - Remplace les tableaux utilisés en java.io
  - Zone de mémoire contiguë, permettant de stocker
    - une quantité de données fixée,
    - d'un type primitif donné
  - A priori pas prévus pour un accès concurrent
    - il faudra les protéger en cas de besoin...
- Représentés par des classes abstraites
  - Permet de dédier l'implémentation native à la plate-forme d'accueil

Classes abstraites des tampons

- Classe abstraite Buffer
  - factorise les opérations indépendantes du type primitif concerné
- Classe abstraite ByteBuffer
  - fournit un ensemble de méthodes et d'opérations plus riche que pour les autres types de buffer
- Classes abstraites dédiées à des types primitifs
  - CharBuffer, ShortBuffer, IntBuffer, LongBuffer, FloatBuffer et DoubleBuffer

Allocation et accès aux tampons

- Allocation de buffer d'un type primitif donné (*prim*):
  - méthodes statiques dans les classes *Prim*Buffer
    - *Prim*Buffer allocate(int capacity)

- Deux manières d'accéder aux éléments d'un buffer
  - Accès **aléatoire** (*absolute*)
    - Relativement à un indice (comme dans un tableau)
  - Accès **séquentiel** (*relative*)
    - Relativement à la position courante (comme un flot)
      - La position courante représente l'indice du prochain élément à lire ou à écrire

Accès aléatoire *vs* séquentiel

- Si *Prim*Buffer est un buffer d'éléments de type *prim* :
- Accès **aléatoire** (*absolute*)
  - *prim* **get**(int index) donne l'élément à la position index
  - *prim*Buffer **put**(int index, *prim* value) ajoute value à l'indice index, et renvoie le buffer modifié
    - comme StringBuilder.append()
  - Peuvent lever IndexOutOfBoundsException
- Accès **séquentiel** (*relative*)
  - *Prim* **get**() resp. *prim*Buffer **put**(*prim* value)
    - Donne la valeur (resp. place value) à la position courante
  - Peuvent lever des exceptions BufferUnderflowException ou BufferOverflowException

Les attributs et méthodes d'un tampon

- **Capacité**: nombre d'éléments qui peuvent être contenus
  - fixée à la création du tampon
  - consultable par int capacity()
- **Limite**: indice du premier élément ne devant pas être atteint
  - par défaut, égale à la capacité.
  - Fixée par Buffer limit(int newLimit)
  - Connue par int limit()
- **Position courante**: indice du prochain élément accessible
  - Consultable: int position()
  - Modifiable: Buffer position(int newPosition)

Les attributs et méthodes d'un tampon

- **Marque** (éventuelle): position dans le tampon
  - Buffer mark() place la marque à la position courante
  - Buffer reset() place la position à la marque
    - ou lève InvalidMarkException
  - La marque est toujours inférieure à la position.
    - Si la position ou la limite deviennent plus petite que la marque, la marque est effacée
- Invariant :

  0 <= marque <= position <= limite <= capacité

- Buffer rewind()
  - met la **position** à 0 et supprime la **marque**

Les attributs et méthodes d'un tampon

- Quand la position courante vaut la limite
  - Un appel à get() provoque BufferUnderflowException
  - Un appel à put() provoque BufferOverflowException
- Pour éviter ça:
  - int remaining() donne le nombre d'éléments entre la position courante et la limite
  - boolean hasRemaining() vaut vrai si la position est strictement inférieure à limite

Les attributs et méthodes "en gros"

- Les méthodes existent en version "groupées*" (**bulk**)*
  - Manipulent un tableau au lieu d'une variable
- *prim*Buffer **get**(*prim*[] dest, int offset, int length) et *prim*Buffer **get**(*prim*[] dest)
  - Tentent de lire **le nombre d'éléments spécifié, ou rien** si pas assez de choses à lire (BufferUnderflowException)
- *prim*Buffer **put**(*prim*[] src, int offset, int length) et *prim*Buffer **put**(*prim*[] src)
  - Tentent d'écrire **le nombre d'éléments spécifié, ou rien** si pas assez de place (BufferOverflowException)
- *prim*Buffer **put**(*prim*Buffer src)
  - Tente d'écrire le contenu de src (BufferOverflowException)

Exemple de tampon aléatoire

```
final static int SIZE=32;
public static void main(String[] args) {
  // Accès aléatoire (mode tableau)
  IntBuffer iba = IntBuffer.allocate(SIZE);
  for (int i=0; i<SIZE; i++) {
    iba.put(i,2*i); // Met la valeur 2*i à l'indice i
  }

  for (int i=0; i<SIZE; i++) {
    System.out.println(iba.get(i));
  } // affiche: 0 2 4 ... 62

  System.out.println(iba.get(2));      // affiche 4
  System.out.println(iba.get(31));     // affiche 62
  System.out.println(iba.get(32));
                    // lève IndexOutOfBoundsException
}
```

Exemple de tampon séquentiel

```
// Accès séquentiel (mode flot)
IntBuffer ibs = IntBuffer.allocate(SIZE);
// capacity=32 limit=32 position=0 remaining=32
for (int i=0; i<SIZE; i++) {
  ibs.put(2*i);
}
// capacity=32 limit=32 position=32 remaining=0

ibs.rewind(); // remet la position courante à 0
for (int i=0; i<SIZE; i++) {
  System.out.println(ibs.get());
} // affiche: 0 2 4 ... 62

ibs.rewind().limit(2);
for (int i=0; i<SIZE; i++) {
  System.out.println(ibs.get());
} // affiche: 0, 2, puis lève BufferUnderflowException
```

Exemple d'accès "groupé" (*bulk*)

```
char[] t1 = {'a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f'};
// Création tampon de caractères de 6 éléments
CharBuffer cb1 = CharBuffer.allocate(t1.length);
cb1.put(t1);   // recopie en gros de t1 dans le tampon
cb1.position(2); // position de cb1 en 2 (sur 'c')

CharBuffer cb2 = CharBuffer.allocate(cb1.capacity());
cb2.put(cb1);  // recopie {c, d, e, f} de cb1 vers cb2
cb2.limit(cb2.position()); // limite de cb2 après 'f'
cb2.position(0);           // et position en 0

// Alloue un tableau du nbre d'élts à lire dans cb2
char[] t2 = new char[cb2.remaining()];
cb2.get(t2);      // lecture du tampon vers le tableau
for (int i=0; i<t2.length; i++) {
  System.out.println(t2[i]); // Affiche c d e f
}
```

Création d'un tampon à partir d'un tampon (une « vue »)

- duplicate() retourne un **tampon partagé**
  - toute modification de données de l'un est vue dans l'autre
  - les attributs (position, limite, marque) du nouveau sont initialisés à partir de l'ancien, mais chaque tampon possède ses propres attributs
- slice() retourne un **tampon partagé** ne permettant de "**voir**" que ce qui reste à lire dans le tampon de départ
  - sa capacité est égale au "remaining()" du tampon de départ
  - La position du nouveau est 0 et la marque n'est plus définie

Création d'un tampon à partir d'un tampon

- asReadOnlyBuffer() retourne un **nouveau tampon** (une vue) en **lecture seule**
  - Les méthodes comme put() lèvent ReadOnlyException
  - Peut être testé avec isReadOnly()
- Possibilité de créer des **vues d'un tampon d'octet** (ByteBuffer) **comme** s'il s'agissait d'**un tampon d'un autre type**
  - asCharBuffer(), asShortBuffer(), asIntBuffer(), asLongBuffer(), asFloatBuffer(), asDoubleBuffer()

Exemples de duplication et partage

```
ByteBuffer bb1 = ByteBuffer.allocate(10);
ByteBuffer bb2 = bb1.duplicate(); // 2 accès possibles
for (int i=0; i<bb1.capacity(); i++){
  bb1.put((byte)i);          // remplissage par bb1
}
System.out.println(bb1.position());   // affiche 10
System.out.println(bb2.position());   // affiche 0
bb2.put((byte)3);     // déplace la position de b2 en 1
System.out.println(bb1.get(0));          // affiche 3
System.out.println(bb1.position());   // affiche 10

ByteBuffer bb3 = bb2.asReadOnlyBuffer();
System.out.println(bb3.position());   // affiche 1
bb3.rewind();              // place la position de b3 en 0
System.out.println(bb3.get());           // affiche 3
bb3.put((byte)4);
          // throws java.nio.ReadOnlyBufferException
```

Exemples de duplication et partage

```
char[] t1 = {'a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f'};
CharBuffer cb1 = CharBuffer.allocate(t1.length);
cb1.put(t1);              // met le contenu de t1 dans cb1
cb1.position(2);          // place cb1 prêt à lire 'c'
cb1.limit(5);             // place limite de cb1 après 'e'
System.out.println(cb1.remaining());     // affiche 3

// Crée un tampon partagé pour ce qui reste dans cb1
CharBuffer cb2 = cb1.slice();
System.out.println(cb2.capacity());      // affiche 3
cb2.put('x');  // met 'x' en 0 dans cb2 (remplace 'c')
for (cb1.rewind(); cb1.hasRemaining(); )
  System.out.println(cb1.get());  // affiche a b x d e

cb1.put(4,'y');// met 'y' en 4 dans cb1 (remplace 'e')
for (cb2.rewind(); cb2.hasRemaining(); )
  System.out.println(cb2.get());      // affiche x d y
```

Tampons directs et non directs

- Par défaut, allocate() renvoit un tampon **non-direct**
  - Allocation classique dans le tas "garbage collecté" (tableau)
    - Le GC peut décider de « déplacer » le tampon qui sert à interagir avec le système: nécessite une recopie lors des lectures/écritures
- ByteBuffer.allocateDirect() renvoit un tampon **direct** (« zone »)
  - L'objet buffer est géré par le GC mais la mémoire associée est allouée dans un espace non géré par le GC
    - Optimise les lectures/écriture natives (évite de recopier les buffers)
  - Coûteux en allocation/libération
  - À réserver pour les buffers de taille et de durée de vie importantes
- Une "vue" d'un tampon d'octets direct est directe
  - Peut être testé par isDirect()

Tampon comme enveloppe de tableau

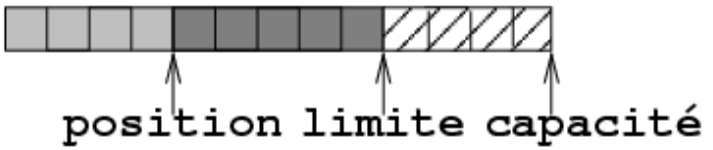
- Méthode statique wrap() dans chaque classe de tampon (pour chaque type primitif) pour envelopper un tableau
  - *prim*Buffer **wrap**(*prim*[] tab, int offset, int length) ou *prim*Buffer **wrap**(*prim*[] tab)
  - Enveloppe la totalité du tableau: capacité vaut tab.length
  - Position du tampon produit est mise à offset (sinon 0)
  - Limite est mise à offset+length (sinon tab.length)
  - Si un tampon est une enveloppe de tableau
    - hasArray() retourne true
    - array() retourne le tableau
    - arrayOffset() retourne le décalage du tampon par rapport au tableau

Exemple de tampon enveloppe de tableau

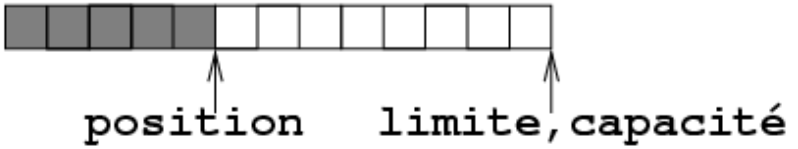
```
int[] it = new int[10]; it[2] = 22; it[4] = 44;
IntBuffer ib = IntBuffer.wrap(it);
System.out.println(ib.capacity());       // affiche 10
System.out.println(ib.get(2));           // affiche 22
ib = IntBuffer.wrap(it,4,5);
System.out.println(ib.position());       // affiche 4
System.out.println(ib.limit());          // affiche 9
System.out.println(ib.capacity());       // affiche 10
System.out.println(ib.arrayOffset());    // affiche 0
System.out.println(ib.get());            // affiche 44
                                  // et avance la position
IntBuffer ib2 = ib.slice();
System.out.println(ib2.position());      // affiche 0
System.out.println(ib2.limit());         // affiche 4
System.out.println(ib2.capacity());      // affiche 4
System.out.println(ib2.arrayOffset());   // affiche 5
```

Méthodes utilitaires sur les tampons

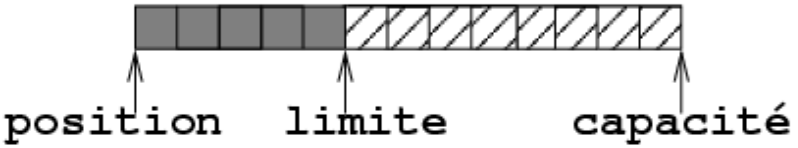
- compact()
  - Place l'élément à la position courante *p* à la position 0, l'élément *p+1* à la position 1, etc. La nouvelle position courante est placée après le dernier élément décalé. La limite est mise à la capacité et la marque effacée.
- flip()
  - limite <- position courante
    position <- 0. Marque indéfinie.
- rewind()
  - position <- 0. Marque indéfinie
- clear() N'efface pas le contenu!



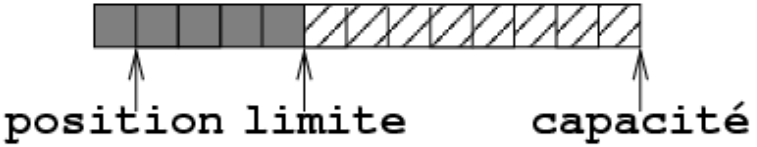

```
bb.compact();
```



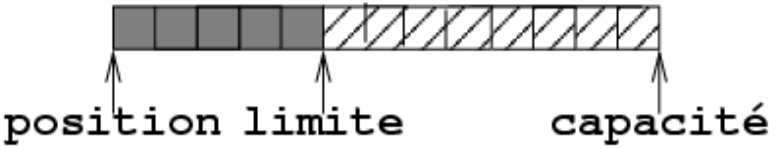

```
bb.flip();
```



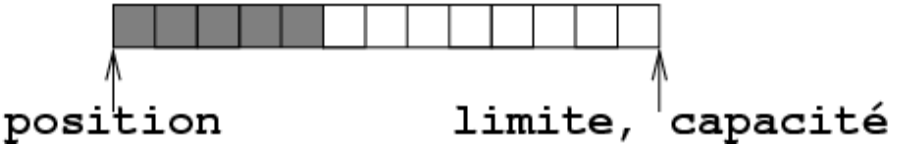

```
bb.get();
```




```
bb.rewind();
```




```
bb.clear();
```



Comparaisons de tampons

- Les classes des tampons implémentent l'interface Comparable<*tamponDeMemeType*>
  - Comparable uniquement avec un tampon du même type
  - compareTo() compare les **séquences d'éléments restants** (au sens de remaining()) de manière lexicographique (le prochain, puis le suivant, etc.)
- Deux tampons sont égaux au sens de equals() si
  - 1. ils ont le **même type** d'éléments,
  - 2. ils ont le **même nombre d'éléments restants** et
  - 3. les deux séquences d'éléments restants, considérées **indépendament de leurs positions** de départ, sont **égales élément par élément**.

Types primitifs et représentation

- Chaque classe de tampon de *prim* (type primitif) permet de lire (get) et d'écrire (put) des éléments de type *prim*
- La classe ByteBuffer sait en plus lire et écrire n'importe quel type primitif avec get*Prim*() ou put*Prim*()
  - Nécessité de choisir l'ordre de représentation des types primitifs (ordre de stockage des octets)
  - ByteOrder.BIG_ENDIAN (gros-boutiste): octet de poids **fort** stocké à l'indice le plus petit (« ***network order*** »)
  - ByteOrder.LITTLE_ENDIAN (petit-boutiste): octet de poids **faible** stocké à l'indice le plus petit

Ordre de représentation des tampons

- ByteOrder.nativeOrder() donne l'ordre de stockage natif de la plateforme
- L'ordre d'un ByteBuffer peut être consulté ou fixé par order()
- Par défaut, tout **tampon d'octet** (ByteBuffer) alloué est en **big endian**
- Tous les **autres tampons** sont créés avec l'**ordre natif**
- Les "vues" d'un tampon d'octet ont l'ordre du tampon d'octet au moment de la création de la vue.

Exemple sur les ordres des tampons

```
System.out.println(ByteOrder.nativeOrder()); // LITTLE_ENDIAN
System.out.println(Integer.toBinaryString(134480385));
  // affiche 00001000 00000100 00000010 00000001 ie {8,4,2,1}
ByteBuffer bb = ByteBuffer.allocate(8);
System.out.println(bb.order());      // BIG_ENDIAN
  // On écrit les 4 octets en big endian (8 en 0, 4 en 1...)
bb.put((byte)8).put((byte)4).put((byte)2).put((byte)1);
  // Puis les 4 octets dans l'ordre little endian
bb.put((byte)1).put((byte)2).put((byte)4).put((byte)8);
  // On prend une vue entière big endian de ce tampon d'octet
IntBuffer ibBE = ((ByteBuffer)bb.rewind()).asIntBuffer();
System.out.println(ibBE.order());    // affiche BIG_ENDIAN
System.out.println(ibBE.get());      // affiche 134480385
  // On prend une vue entière en little endian du même tampon
IntBuffer ibLE = bb.order(ByteOrder.LITTLE_ENDIAN).asIntBuffer();
System.out.println(ibLE.order());    // affiche LITTLE_ENDIAN
System.out.println(ibLE.get(1));     // affiche 134480385
System.out.println(ibLE.get(0));     // affiche 16909320...
                                     // ... ordre inverse
```

Les tampons de caractères

- Les tampons de caractères CharBuffer implantent l'interface CharSequence
  - Permet d'utiliser les expressions régulières directement sur les tampons (Pattern: matcher(), matches(), split())
    - Pour toute recherche, penser à revenir au début du tampon, par exemple avec flip(), car seuls les caractères restants à lire sont pris en compte
  - toString() retourne la chaîne entre la position courante et la limite
  - wrap() peut accepter (en plus d'un char[]), n'importe quel CharSequence : String, StringBuffer ou CharBuffer
    - Dans ces derniers cas, le tampon est en ***lecture seule***.

Appendable et Readable (jdk1.5)

- CharBuffer implante ces deux interfaces

- Appendable: un truc auquel on peut ajouter des char
  - Soit un caractère tout seul: Appendable append(char c)
  - Soit tout ou partie d'une CharSequence :
    Appendable append(CharSequence csq) et
    Appendable append(CharSequence csq, int start, int end)
  - Exemples: BufferedWriter, CharBuffer, FileWriter, OutputStreamWriter, PrintStream, PrintWriter, StringBuffer, StringBuilder, StringWriter, Writer...
- Readable: un truc dans lequel on peut lire des char
  - int read(CharBuffer cb)
  - Retourne le nombre de caractères lus et placés dans le CharBuffer cb, ou -1 si le Readable n'a plus rien à lire

Les jeux de caractères (java.nio.charset)

- Charset : représente une association entre
  - un jeu de caractères (sur un ou plusieurs octets)
  - et le codage Unicode "interne" à Java sur 2 octets
  - Référencé par un nom (***canonique***, US-ASCII, ou ***alias*** ASCII)
- CharsetEncoder : encodeur
  - Transforme une séquence de caractères Unicode codés sur 2 octets en une séquence d'octets représentant ces caractères, mais utilisant un autre jeu de caractères.
- CharsetDecoder : décodeur
  - À partir d'une séquence d'octets représentant des caractères dans un jeu de caractères donné, produit une suite de caractères Unicode représentés sur deux octets.

Classe Charset

- Liste de jeux de caractères officiels gérée par IANA: http://www.iana.org/assignments/character-sets
- Jeux de caractères disponibles sur la plateforme
  - Charset.availableCharsets() retourne une SortedMap associant les noms aux Charset
  - La plateforme Java requiert au minimum: US-ASCII, ISO-8859-1, UTF-8, UTF-16BE, UTF-16LE, UTF-16
  - Charset.isSupported(String csName) vrai si la JVM supporte le jeu de caractères dont le nom est passé en argument
  - Charset.forName(String csName) retourne le Charset
  - Pour un Charset donné, name() donne le nom canonique et aliases() donne les alias
  - contains() teste si un jeu de caractères en contient un autre

L'objet encodeur (classe CharsetEncoder)

- Obtenu à partir d'un objet Charset par newEncoder()
  - Caractères d'entrée fournis par un CharBuffer
  - Octets produits placée dans un ByteBuffer
- Méthode encode() la plus simple
  - Accepte un CharBuffer et encode son contenu (*remaining*) dans un ByteBuffer alloué pour l'occasion
    - IllegalStateException si opération de codage déjà en cours
    - Ou bien CharacterCodingException qui peut être:
      - MalformedInputException si valeur d'entrée incorrecte
      - UnmappableCharacterException si caractère d'entrée n'a pas de codage dans le jeu de caractères de destination
    - Racourci:
      Charset.forName("ASCII").encode("texte à coder");

Gestion des problèmes de codage

- Par défaut, MalformedInputException ou Unmappable-CharacterException sont levées si problème
- On peut spécifier un comportement spécifique
  - onMalformedInput() ou onUnmappableCharacter()
  - Via une constante de type CodingErrorAction
    - IGNORE permet d'ignorer simplement le problème
    - REPLACE permet de remplacer le caractère non valide ou non codable par une séquence d'octets (par défaut '?')
      - byte[] replacement() permet de la consulter
      - replaceWith(byte[]) permet d'en spécifier une nouvelle
    - REPORT provoque la levée d'exception (par défaut)
    - Les méthodes malformedInputAction() et unmappableCharacterAction() donnent la valeur actuelle

Exemple de codage vers ASCII

```
Charset ascii = Charset.forName("ASCII");
CharsetEncoder versASCII = ascii.newEncoder();
CharBuffer cb = CharBuffer.wrap("accentués et J2€€");
// (a)
// versASCII.replaceWith(new byte[]{'$'});
// versASCII.onUnmappableCharacter(
//                          CodingErrorAction.REPLACE);
try {
  ByteBuffer bb = versASCII.encode(cb);
// UnmappableCharacterException si (a) en commentaire
  while (bb.hasRemaining()) {
    System.out.print(((char)bb.get()));
  } // affiche "accentu$s et J2$$" en décommentant (a)
} catch(CharacterCodingException cce) {
  cce.printStackTrace();
}
```

Méthode encode() plus complète

- CoderResult encode(CharBuffer in, ByteBuffer out, boolean endOfInput)
  - Encode au plus in.remaining() caractères de in
  - Écrit au plus out.remaining() octets dans out
  - Fait évoluer les positions des deux buffers
  - Retourne un objet CoderResult représentant le résultat de l'opération d'encodage. Ce résultat peut être testé:
    - isError() vrai si erreurt produite (*malformed* ou *unmappable*)
    - isUnderflow() vrai si pas assez de caractères dans in
    - isOverflow() vrai si pas assez de place dans out
    - isMalformed() si un caractère mal formé a été rencontré
    - isUnmappable() si caractère pas codable dans le jeu de sortie

Méthode encode() plus complète (2)

- Le 3° argument booléen endOfInput
  - S'il est à false, il indique que d'autres caractères doivent encore être décodés (tous appels sauf dernier)
    - L'état interne du codeur peut les attendre
  - Il doit être à true lors du dernier appel à cette fonction
- L'encodage est terminé lorsque
  - Le dernier appel à encode(), avec endOfInput à true, a renvoyé un CoderResult tel que isUnderflow() soit true (plus rien à lire)
  - Il faut faire flush() pour terminer le codage (purge des états internes)

Principe d'utilisation pour codage

- 1. Remettre à jour l'encodeur avec reset()
  - Purge des états internes
- 2. Appeler la méthode encode() zéro fois ou plus
  - Tant que de nouvelles entrées peuvent être disponibles
  - En passant le troisième argument à false, en remplissant le buffer d'entrée et en vidant le buffer de sortie à chaque fois
  - Cette méthode ne retourne que lorsqu'il n'y a plus rien à lire, plus de place pour écrire ou qu'en cas de pbme de codage
    - On peut traiter ces problèmes éventuels
- 3. Appeler la méthode encode() une dernière fois
  - En passant le troisième argument à true
- 4. Appeler la méthode flush()
  - Purger les états internes de l'encodeur dans le buffer de sortie

Méthodes utilitaires pour l'encodage

- Étant donné un jeu de caractères
- Dimensionner les buffers d'octets/caractères
  - float averageBytesPerChar() : # moyen d'octet par char
  - float maxBytesPerChar() : pire des cas
- Assurer qu'une séquence de remplacement est correcte
  - boolean isLegalReplacement(byte[] repl)
- Savoir si on est capable d'encoder un ou plusieurs char
  - En effet, certains caractères sont "couplés" (*surrogate*)
    - boolean canEncode(char c)
    - boolean canEncode(CharSequence cs)
  - Attention, ces méthodes peuvent changer l'état interne de l'encodeur (ne pas les appeler si un encodage est en cours)

Le décodage

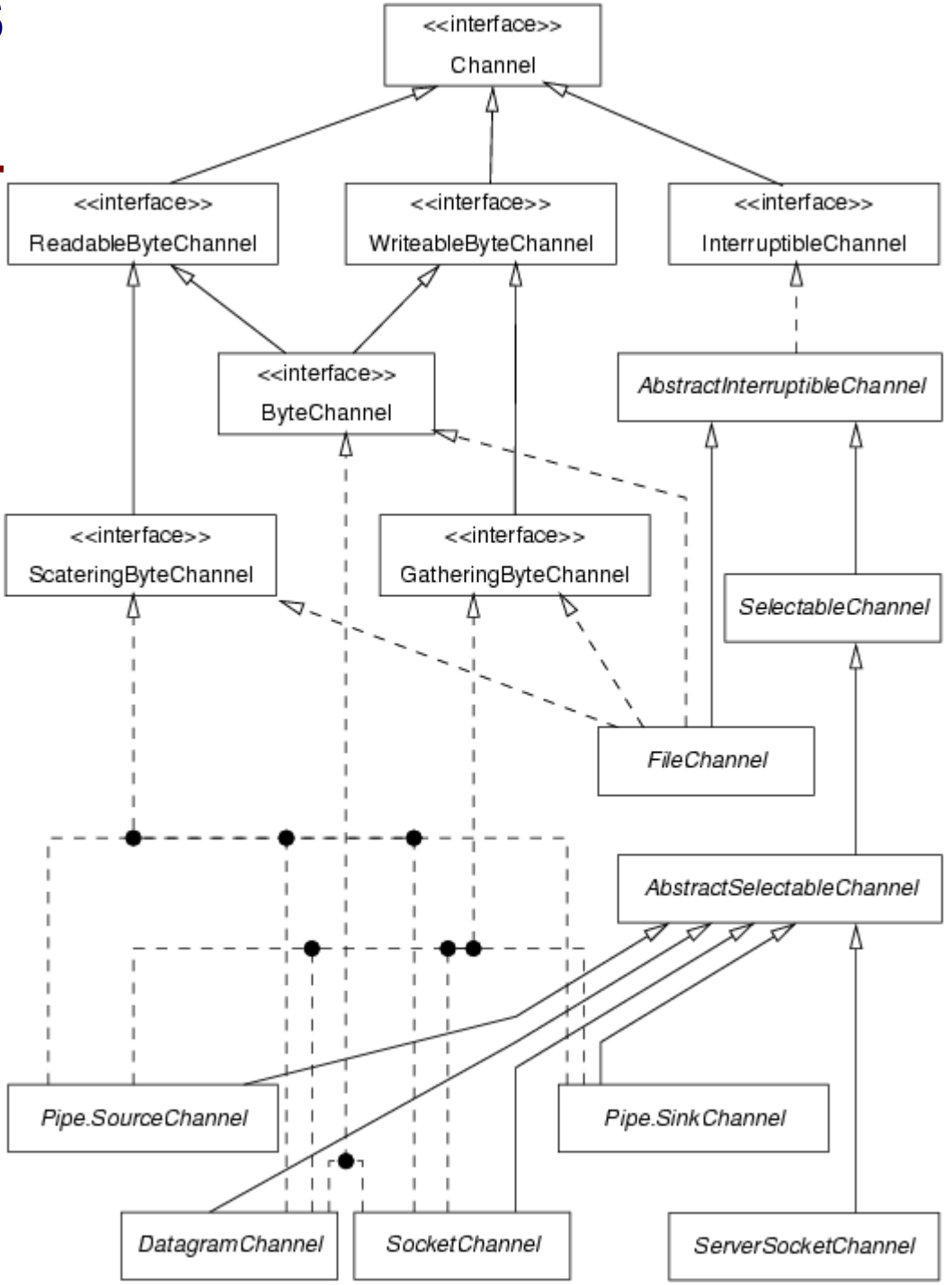
- Principe semblable à celui du codage
  - Instance d'une sous-classe de la classe abstraite CharsetDecoder
    - Peut être récupérée par Charset.newDecoder()
  - Méthodes decode()
    - Lit un tampon d'octets et produit un tampon de caractères
    - Version complète avec ByteBuffer d'entrée, CharBuffer de sortie et paramètre booléen endOfInput retournant un CoderResult
  - Les caractères à produire en cas de problème de décodage sont fournis par replacement() et replaceWith() qui manipulent des String au lieu de byte[]
  - maxCharsPerByte() et averageCharsPerByte()

Les canaux (*channels*)

- Représentent des connexions ouvertes vers des entités capables d'effectuer des opérations d'entrées-sorties comme des fichiers, des sockets ou des tubes
  - Un canal est ouvert à sa création.
  - Il ne peut plus être utilisé une fois qu'il est fermé.
  - À la différence des flots, il peut être utilisé en mode bloquant ou non bloquant *(on y reviendra plus tard)*.
    - En mode non bloquant, toutes les lectures/écritures retournent immédiatement, même si rien n'est lu ou écrit.
    - On peut alors utiliser un sélecteur pour attendre en même temps la possibilité d'effectuer des entrées-sorties sur différents canaux.

Classes/interfaces fondamentales

- java.nio.channels.*
  - Channel
    - close(), isOpen()
  - ReadableByteChannel
    - int read(ByteBuffer)
    - Tente de lire au plus remaining() octets.
  - WritableByteChannel
    - int write(ByteBuffer)
    - Tente d'écrire au plus remaining() octets
  - ByteChannel
    - Hérite des deux



Canaux et flots

- Quand les canaux sont **bloquants**
  - read() et write() se comportent comme pour les flots
    - Tous les octets seront écrits au retour de write()
    - Au moins un octet lu au retour de read() ou alors retourne -1
- Deux lectures ou deux écritures concurrentes sur un même canal ont toujours lieu l'une après l'autre
  - Sans interférer entre elles. Évite souvent de synchroniser.
  - En revanche l'interférence entre une lecture et une écriture peut dépendre du type de canal.
- La classe utilitaire Channel**s** permet d'obtenir
  - Des canaux à partir de flots et des flots à partir de canaux
    - Ils sont liés:et la fermeture de l'un entraîne celle de l'autre

Exemple de canaux associés à des flots

```
FileInputStream in = new FileInputStream(args[0]);
ReadableByteChannel cin = Channels.newChannel(in);
FileOutputStream out = new FileOutputStream(args[1]);
WritableByteChannel cout = Channels.newChannel(out);
ByteBuffer byteB = ByteBuffer.allocate(1000);
int nb;
try {
  while ((nb=cin.read(byteB))!=-1) {
    byteB.flip();   // position=0, limite=fin des
                    //                  données lues
    cout.write(byteB);
    byteB.clear(); // position=0, limite=capacité
  }
} finally {
  cin.close();     // Ferme le canal et le flot !
  cout.close();
}
```

Interfaces de canaux

- ScatteringByteChannel extends ReadableByteChannel
  - Ajoute les méthodes à multiple tampons ("*dispatcheur*")
    - long read(ByteBuffer[] dsts) et
      long read(ByteBuffer[] dsts, int offset, int length)
    - Pratique pour lire des en-têtes de taille fixe (ex: protocoles)
- GatheringByteChannel extends WritableByteChannel
  - Ajoute les méthodes ("*collecteur*")
    - long write(ByteBuffer[] srcs) et
      long write(ByteBuffer[] srcs, int offset, int length)
    - Pratique pour toujours débuter une écriture par une suite d'en-têtes spécifiques

Canaux fermables et "interruptibles"

- Interface InterruptibleChannel extends Channel
- Un canal qui implante InterruptibleChannel est un
  - Canal ***fermable de manière asynchrone***
    - Si une thread t est bloquée par une opération d'entrée/sortie sur un tel canal, et qu'une autre thread ferme le canal par close(), alors t reçoit une exception AsynchronousCloseException
  - Canal ***interruptible***
    - Si une thread t est bloquée par une opération d'entrée/sortie sur un tel canal, et qu'une autre thread fait t.interrupt(), alors le canal est fermé et t reçoit une exception ClosedByInterruptException
      - Dans ce cas, le statut d'interruption de t est positionné
    - Si le statut d'interruption de t est positionné au moment de l'appel une opération d'entrée/sortie bloquante, ça lève aussi ClosedByInterruptException
      - Statut d'interruption reste positionné, le canal est fermé

Canaux à mode non bloquant

- Héritent de la classe abstraite SelectableChannel
  - Lecture et écriture ne bloquent jamais
  - Le nombre d'octets transférés peut être inférieur à l'indication
    - Éventuellement nul, en lecture comme en écriture
- Tous les canaux standards peuvent être non bloquants SAUF:
  - Ceux obtenus par la classe utilitaire Channels
  - Les canaux sur les fichiers
- À leur création, les canaux sont en mode bloquant
  - Changement de mode par configureBlocking(false)
  - Consultation du mode actuel par isBlocking()
- Ils sont les seuls à pouvoir être multiplexés avec un **sélecteur** de la classe java.nio.channels.Selector

Canaux vers les fichiers

- Classe abstraite FileChannel
  - Instances obtenues par les méthodes getChannel() de
    - FileInputStream, FileOutputStream ou RandomAccessFile
    - Ne supporte que les méthodes correspondantes, sinon NonWritableChannelException ou NonReadableChannelException
  - Méthodes read() et write() conformes aux interfaces
    - read() retourne -1 quand la fin de fichier est atteinte
    - Deux lectures ou deux écritures concurrentes ne s'entrelassent pas
  - Le flot et le canal sont liés et se reflètent leurs états respectifs
  - Utilisation de caches pour améliorer les performances
    - Méthode force() pour écriture des données sur le fichier

FileChannel et transferts optimisés

- FileChannel permet des transferts par bloc **optimisés** par le système
  - Lecture d'un bloc depuis un ReadableFileChannel et écriture dans le FileChannel courant
    long **transferFrom**(ReadableByteChannel src,long position,long count)
    - Tente de lire dans `src` au plus `count` bytes et de les copier à partir de `position` dans le canal courant. Ne modifie pas la position courante, mais fait évoluer celle de `src`. Le nombre d'octets transférés est retourné.
  - Écriture d'un bloc depuis le FileChannel courant vers un ReadableFileChannel
    long **transferTo**(long position,long count,WritableByteChannel target)
    - Tente d'écrire dans `target` au plus `count` bytes lus dans le canal courant à partir de `position`. Ne modifie pas la position courante, mais fait évoluer celle de `target`.

Fichiers mappés en mémoire

- Permet de voir un fichier comme un tampon d'octets dans lequel on peut lire ou écrire
  - Opérations beaucoup plus rapides mais
  - Coût pour réaliser le mapping (alloué direct via malloc)
- `MappedByteBuffer extends ByteBuffer`
  - Obtenu par map() sur un FileChannel avec arguments:
  - FileChannel.MapMode
    - READ_ONLY, fichier ne peut pas être modifié via ce tampon
    - READ_WRITE, le fichier est modifié (avec un délai, cf. force())
    - PRIVATE crée une copie privée du fichier. Aucune modification répercutée
  - long position
  - long taille
- Le fichier mappé reste valide jusqu'à ce que le MappedByteBuffer soit garbage-collecté

Canaux sur les tubes

- Comme les tubes des flots (java.io)
  - PipedReader,PipedWriter,PipedInputStream, PipedOutputStream
  - Faire communiquer simplement deux processus légers
  - Ce qui est écrit un thread est lu dans l'ordre par l'autre
- À la différence des tubes des flots, ceux des canaux
  - java.nio.channels : Pipe, Pipe.SinkChannel et Pipe.SourceChannel sont des objets qui ont une « réalité système »
- Créés avec la méthode statique open() de type Pipe
  - Retourne un objet de type Pipe, sur lequel on peut faire
  - Pipe.SinkChannel **sink**() pour écrire des données (AbstractSelectableChannel,WritableByteChannel,GatheringByteChannel)
  - Pipe.SourceChannel **source**() pour lire des données (AbstractSelectableChannel,ReadableByteChannel,ScatteringByteChannel)
- Les deux canaux supportent le passage en mode non bloquant

Accès à UDP *via* les canaux

- Depuis jdk 1.4, java.nio.channels.DatagramChannel
- Canal vers une socket UDP
  - On peut créer une java.net.DatagramSocket à partir d'un DatagramChannel, mais pas le contraire
    - Si une socket UDP su a été créée à partir d'un canal, on peut récupérer ce canal par su.getChannel(). Sinon, cette méthode retourne null.
  - DatagramChannel.open() crée et retourne un canal associé à une socket UDP (non attachée)
  - DatagramChannel n'est pas une abstraction complète des sockets UDP: pour les opérations précises (binding, etc...) on récupère l'objet DatagramSocket sous-jacent

DatagramChannel

- Par défaut, un canal dc récupéré par Datagram-Channel.open() est bloquant. Il peut être configuré non bloquant.
  - dc.socket() récupère alors la DatagramSocket correspondante
  - Elle n'est pas attachée. On peut faire bind(SocketAddress) sur cette socket
- Les méthodes send() et receive() sont accessibles depuis le canal
  - Elles manipulent des ByteBuffer et receive() retourne un objet SocketAddress identifiant l'émetteur des données reçues
- On doit faire une pseudo-connexion pour pouvoir utiliser les méthodes read() et write() avec des ByteBuffer, plus classiques sur les canaux (interlocuteur implicite pour ces méthodes)

Envoi sur un DatagramChannel

- int send(ByteBuffer src, SocketAddress target)
- Provoque l'envoi des données restantes du tampon src vers target
- Semblable à un write() du point de vue du canal
- Si **canal bloquant**, la méthode retourne lorsque tous les octets ont été émis (leur nombre est retourné)
- Si **canal non bloquant**, la méthode émet tous les octets ou aucun
- Si une autre écriture est en cours sur la socket par une autre thread, l'invocation de cette méthode bloque jusqu'à ce que la première opération soit terminée

Réception depuis un DatagramChannel

- SocketAddress receive(ByteBuffer dst)
- Par défaut, méthode bloquante tant que rien n'est reçu par la socket
- Au plus dst.remaining() octets peuvent être reçus
  - Le reste est tronqué
- Retourne l'adresse de socket (IP+port) de l'émetteur des données
- Si **canal non bloquant**, soit tout est reçu, soit le tampon n'est pas modifié et la méthode retourne null
- Bug: on ne peut pas limiter le temps d'attente en lecture, comme c'est le cas avec DatagramSocket.setSoTimeout()
  - Dans ce cas, c'est ignoré par le flot de lecture sur le canal
  - Si besoin, il faut le faire « à la main »

Exemple de client UDP avec canaux : envoi

```
// Récupération de l'adresse IP et du port
InetAddress server = InetAddress.getByName(args[0]);
int port = Integer.parseInt(args[1]);
InetSocketAddress isa = new InetSocketAddress(server, port) ;

// Création d'un objet canal UDP non attaché
DatagramChannel dc = DatagramChannel.open() ;

// Les données à envoyer doivent être dans un ByteBuffer
ByteBuffer bb = ByteBuffer.wrap("Hello".getBytes("ASCII")) ;

// L'attachement de la socket UDP sous-jacente est implicite
dc.send(bb,isa) ;

// si j'attends une réponse, je ne ferme pas le canal...
```

Exemple de client UDP avec canaux : réception

```
// pour me préparer à recevoir la réponse...
// j'alloue une zone de données de taille suffisante
ByteBuffer bb = ByteBuffer.wrap(new byte[512]);

// la réception place les données dans la zone de données et
// retourne la socket représentant l'émetteur
SocketAddress sender = dc.receive(bb) ;

bb.flip();
System.out.println(bb.remaining()+" octets ont été reçus de "
                                    +sender+":");
System.out.println(new String(bb.array(),
                              0,bb.remaining(),
                              "ASCII"));
// L'échange est fini: je ferme (définitivement) le canal...
dc.close();
```

Exemple de serveur UDP avec canaux

```
// Création d'un objet canal UDP (non attaché)
DatagramChannel dc = DatagramChannel.open() ;

// attachement (explicite) de la socket sous-jacente
// au port d'écoute
InetSocketAddress isa = new InetSocketAddress(port);
dc.socket().bind(isa) ;

// allocation d'une zone de données de taille suffisante
ByteBuffer bb = ByteBuffer.allocateDirect(512);
while (true) {
    SocketAddress sender = dc.receive(bb);  // réception
    bb.flip() ;
    // traitement éventuel
    dc.send(bb,sender);              // réponse à l'émetteur
    bb.clear() ;
    // raz de la zone de réception
}
```

Canaux vers les sockets TCP

- java.nio.channels.ServerSocketChannel et SocketChannel
  - Acceptation de connexion et représentation des connexions
- SocketChannel représente un canal sur une socket TCP
  - Objet canal de socket TCP (non attaché) retourné par open()
  - Attachement éventuel de la socket sous-jacente Socket socket()
    Par un appel à bind() sur cet objet Socket
- ServerSocketChannel
  - Objet canal d'écoute de connexions entrantes retourné par open()
  - N'est que l'abstraction d'un canal sur une ServerSocket, récupérable par la méthode socket()
  - Il faut attacher cette ServerSocket par bind() avant de pouvoir accepter des connexions (sinon, NotYetBoundException)

ServerSocketChannel

- Appeler accept() sur le canal pour accepter des connexions (la server socket sous-jacente doit être attachée)
  - Si le canal est **bloquant**, l'appel bloque
    - Retourne un SocketChannel quand la connexion est acceptée ou
    - Lève une IOException si une erreur d'entrée-sortie arrive
  - Si le canal est **non bloquant**, retourne immédiatement
    - null s'il n'y a pas de connexion pendante
  - Quel que soit le mode (bloquant / non bloquant) du ServerSocketChannel le SocketChannel retourné est **initialement en mode bloquant**

SocketChannel

- boolean connect(SocketAddress remote) sur le canal
- Si SocketChannel en mode **bloquant**, l'appel à connect() bloque et retourne true quand la connexion est établie, ou lève IOException
- Si SocketChannel en mode **non bloquant**, l'appel à connect()
  - Peut retourner true immédiatement (connexion locale, par exemple)
  - Retourne false le plus souvent: il faudra plus tard appeler finishConnect()
- Tant que le canal est non connecté, les opérations d'entrée/sortie lèvent NotYetConnectedException (peut être testé par isConnected())
- Un SocketChannel reste connecté jusqu'à ce qu'il soit fermé
  - Possibilité de faire des half-closed et des fermetures asynchrones
  - AsynchronousCloseException (si canal fermé alors qu'une opération d'écriture en cours était bloquée, ou pendant l'opération de connection)
  - ClosedByInterruptException (si autre thread interromp la thread courante lorsqu'elle effectue une opération, IO, connection, etc.)

Établissement de connexion

- Méthode finishConnect()
  - Si connexion a échoué, lève IOException
  - Si pas de connexion initiée, lève NoConnectionPendingException
  - Si connexion déjà établie, retourne immédiatement true
  - Si la connexion n'est pas encore établie
    - Si mode **non bloquant**, retourne false
    - Si mode **bloquant**, l'appel bloque jusqu'au succès ou à l'échec de la connexion (retourne true ou lève une exception)
  - Si cette méthode est invoquée lorsque des opérations de lecture ou d'écriture sur ce canal sont appelés
    - Ces derniers sont bloqués jusqu'à ce que cette méthode retourne
  - Si cette méthode lève une exception (la connexion échoue)
    - Alors le canal est fermé

Communication sur canal de socket TCP

- Une fois la connexion établie, le canal de socket se comporte comme un canal en lecture et écriture
  - extends AbstractSelectableChannel et implements ByteChannel, ScatteringByteChannel, GatheringByteChannel
- Méthodes read() et write()
  - En mode **bloquant**, write() assure que tous les octets seront écrits mais read() n'assure pas que le tampon sera rempli (au moins un octet lu ou détection de fin de connexion: retourne -1)
  - En mode **non bloquant**, lecture comme écriture peuvent ne rien faire et retourner 0.
- Fermeture de socket par close() entraine la fermeture du canal

Les sélecteurs

- Objets utilisés avec les canaux configurés en mode **non bloquant** qui héritent de SelectableChannel
  - Ces canaux peuvent être enregistrés auprès d'un sélecteur après avoir été configurés non bloquant (configureBlocking(false))
  - java.nio.channels.Selector : les instances sont créées par appel à la méthode statique open() et fermés par close()

Les sélecteurs (suite)

- Enregistrement d'un canal auprès d'un sélecteur
  - Se fait par un appel, sur le canal à enregistrer, de:
  - SelectionKey register(Selector sel, int ops) ou
    SelectionKey register(Selector sel, int ops, Object att)
    - ops représente les opérations "intéressantes" pour ce sélecteur
    - SelectionKey retourné représente la **clé de sélection** de ce canal, qui permet de connaître, outre le sélecteur:
      - channel() renvoie le canal lui même
      - interestOps() renvoie les opérations « intéressantes »
      - attachment() renvoie l'objet att éventuellement attaché

Autour des sélecteurs

- keys() appelé sur un sélecteur retourne toutes ses clés
  - SelectionKey keyFor(Selector sel) sur un canal donne la clé de sélection du sélecteur pour ce canal
- On peut enregistrer plusieurs fois un même canal auprès d'un sélecteur (il met la clé à jour)
  - Il est plus élégant de modifier sa clé de sélection
    - En argument de interestOps() ou de attach() sur cette clé de sélection
- Les opérations intéressantes sont exprimées par les bits d'un entier (faire des OU binaires (|))
    - SelectionKey.OP_READ, SelectionKey.OP_WRITE, SelectionKey.OP_CONNECT, SelectionKey.OP_ACCEPT
  - Étant donné un canal, validOps() renvoit ses opérations « valides »

Utilisation des sélecteurs

- Appel à la méthode select()
  - Entraîne l'attente passive d'événements intéressants pour les canaux enregistrés
  - Dès qu'une de ces opérations peut être effectuée, la méthode retourne le nombre de canaux séléctionnés
  - Elle ajoute également les clés de sélection de ces canaux à l'ensemble retourné par selectedKeys() sur le selecteur
    - Il suffit de le parcourir avec un itérateur
  - C'est à l'utilisateur de retirer les clés de sélection correspondant aux canaux sélectionnés qu'il a « utilisé »
    - méthode remove() de l'ensemble ou de l'itérateur ou
    - méthode clear() de l'ensemble qui les retire toutes
- Si une clé est intéressée par plusieurs opérations
  - readyOps() donne celles qui sont prêtes
  - raccourcis isAcceptable(), isConnectable(), isReadable() et isWritable()

Sélection bloquante ou non bloquante

- Les méthodes select() ou select(long timeout) sont bloquantes
  - Elles ne retournent qu'après que
    - un canal soit sélectionné ou
    - la méthode wakeup() soit appelée ou
    - la thread courante soit interrompue ou
    - le timeout ait expiré
- La méthode selectNow() est non bloquante
  - Retourne 0 si aucun canal n'est sélectionné
- La méthode wakeup() permet d'interrompre une opération de sélection bloquante, depuis un autre processus léger
- L'annulation de l'enregistrement d'un canal auprès d'un sélecteur peut se faire par cancel() sur la clé de sélection. Elle est aussi réalisée implicitement à la fermeture du canal.

Fonctionnement des sélecteurs

- Un sélecteur maintient 3 ensembles de clés de sélection
  - ***key set***
    - Ensemble des clés de tous les canaux enregistrés dans ce sélecteur.
    - Méthode keys()
  - ***selected-key set***
    - Ensemble des clés dont les canaux ont été identifiés comme **prêts**
      - pour au moins une des opérations spécifiées dans l'ensemble des opérations de cette clé
      - à l'occasion d'**une opération de sélection précédente**
    - Méthode selectedKeys()
  - ***canceled-key set***
    - Ensemble des clés qui ont été annulées mais dont les canaux n'ont pas encore été désenregistrés de ce sélecteur
    - Cet ensemble n'est pas directement accessible

Opération de sélection

- 1. Chaque clé de ***canceled-key set*** est supprimée
  - De chacun des ensembles dans lesquels elle est présente
  - À la fin de 1. *canceled-key set* est vide
- 2. L'OS est interrogé
  - Pour savoir quels canaux sont prêts à réaliser une opération qui est décrite par sa clé comme "d'intérêt" au début de l'opération de sélection
  - Pour chacun des canaux prêts à faire quelque chose
    - Soit sa clé n'était pas déjà dans *selected-key set*, alors elle y est ajoutée avec un ensemble d'opérations prêtes reflétant l'état du canal
    - Soit sa clé était déjà dans *selected-key set*, alors son ensemble d'opérations prêtes est mis à jour par un OU binaire avec les anciennes
- 3. Si, pendant l'étape 2, des clés ont été ajoutée dans *canceled-key set*, alors elles sont traitées comme dans 1.

Sélection et concurrence

- Les sélecteurs sont "thread-safe", mais pas leurs ensembles
- Une opération de sélection synchronise:
  - 1. sur le sélecteur
  - 2. sur le *key-set*
  - 3. sur le *selected-key set*
  - Et sur le *canceled-key set* pendant les étapes 1. et 3. de la sélection
- Un thread bloqué sur select() ou select(long timeout) peut être interrompu par un autre thread de trois manières:
  - En appelant wakeup() sur le sélecteur (select() retourne)
  - En appelant close() sur le sélecteur (select() retourne)
  - En appelant interrupt() sur le thread
    - Pose le statut d'interruption et appelle la méthode wakeup()

Code-type d'un serveur non bloquant

```
public void launch() throws IOException {
  // registers the server socket for 'accept' operations
  serverSocket.register(selector,SelectionKey.OP_ACCEPT);
  // retrieves the selectedKeys set reference
  Set<SelectionKey> selectedKeys = selector.selectedKeys();
  while(!Thread.interrupted()) {
    // blocking selection operation, until there is something to do
    selector.select();
    try {
      for(SelectionKey key : selectedKeys) {
        if(key.isAcceptable()) {
          doAccept(key);
        }
        if(key.isValid() && key.isWritable()) {
          doWrite(key);
        }
        if(key.isValid() && key.isReadable()) {
          doRead(key);
        }
      }
    } finally {
      selectedKeys.clear();
    }
  }
}
```