Applications réseaux

IP-UDP-TCP « classique » en Java

Etienne Duris

Bibliographie et sources

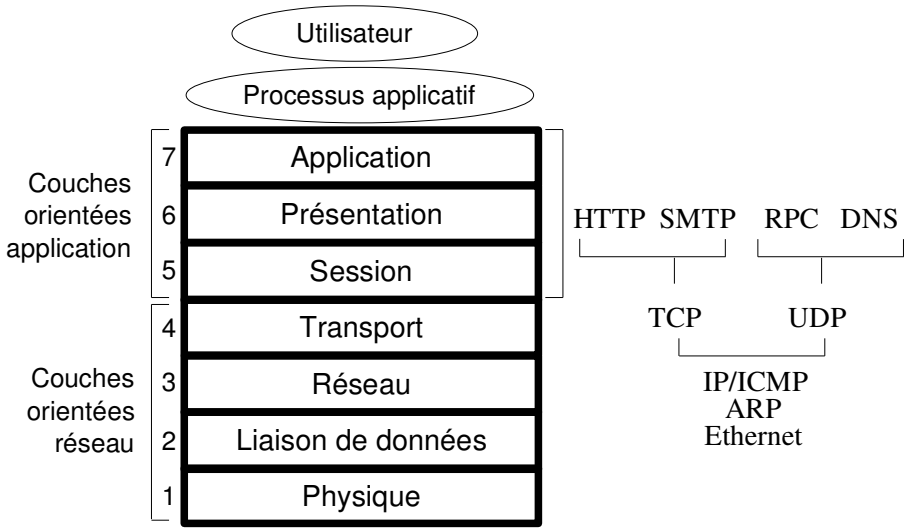
- *Java et Internet*
  G. Roussel, E. Duris, N. Bedon et R. Forax. Vuibert 2002.
- Les cours de Rémi Forax
  `http://igm.univ-mlv.fr/~forax/`
- Documentations Java Oracle
  `http://docs.oracle.com/javase/`
- Java Network Programming, Third Edition, Elliotte Rusty Harold, O'Reilly

- Pour une remise à niveau concernant le réseau:
  - **`http://igm.univ-mlv.fr/~duris/RESEAU/L3/licence3.html`**

Contexte

- On s'intéresse aux applications de type Internet
  - Interconnexion des réseaux utilisant le protocole Internet (IP)
  - La couche IP sert à **adresser**, **acheminer**, **router** les paquets IP
  - Pour échanger des informations (être utilisé), le protocole Internet de la **couche réseau (3)** requiert un protocole « compagnon » de la **couche transport (4)**
    - UDP (*User Datagram Protocol*) ou
    - TCP (*Transmission Control Protocol*)
  - La grande majorité des applications (DNS, SMTP, FTP, HTTP, etc.) reposent sur cette suite dite « TCP/IP »
- L'accès aux « couches basses » (1 et 2) est plus délicat
  - Dépendant du protocole, du système d'exploitation (libpcap)

Open System Interconnection (OSI)



Standards et normes

- Adoptés par l'IAB (*Internet Architecture Board*)
  - IRTF (*Internet Research Task Force*) : long terme
  - IETF (*Internet Engineering Task Force*) : court terme
- Distribués par l'INTERNIC (*INTERnet Network Information Center*)
  - sous la forme de documents appelés **RFC** (*Request For Comments*)
  - **`www.rfc-editor.org`**
  - **`www.irtf.org`**
  - **`www.ietf.org`**

Gestion des adresses Internet

- Les noms et numéros sont gérés par
  - IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*)
    - **`www.iana.org`**
  - ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*)
    - **`www.icann.org`**
- Délèguent leurs fonctions au niveau régional
  - RIPE NCC (Réseaux IP Européens, Network Coordination Center) pour une partie de l'Europe de l'Est et l'Afrique
    - Délègue, au niveau national, à des LocalIR (*Internet Registery*). GEANT (europe) RENATER (france)
      - Délègue à l'administrateur (ex. Université)

Les noms IANA et adresses numériques

- `Noms` composés de labels séparés par des points « . »
  - Chaque label fait au plus 63 caractères, au plus 255 caractères au total
  - Majuscules et minuscules sont indifférenciées
- Organisés hiérarchiquement
  - Domaine « univ-mlv » est un sous-domaine du domaine « fr »
  - Quand une machine recherche une @IP associée à un nom,
    - Elle fait appel à un serveur DNS local.
    - S'il n'a pas la réponse localement, il fait appel au serveur DNS du domaine du nom recherché ou, au pire, au serveur racine.
- DNS (*Domain Name System*) est une base de données distribuée
  - Implémentation BIND (*Berkeley Internet Name Domain*)
  - Fichiers `/etc/hosts` et `/etc/resolv.conf`
  - Outils **dig** ou **nslookup**

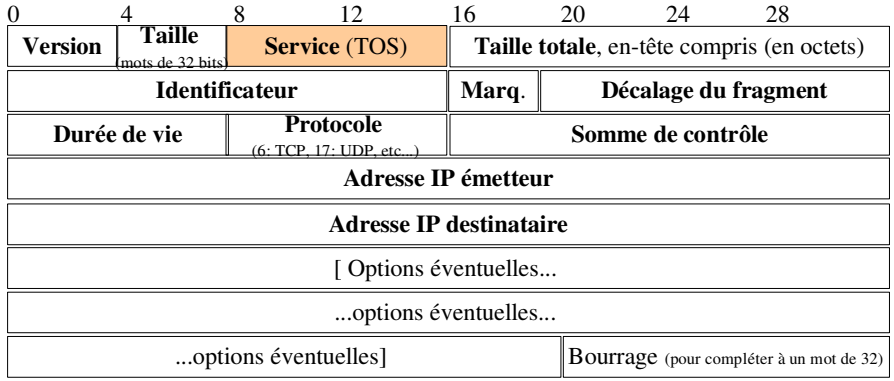
Adresses réservées

- L'adresse du ***réseau*** lui même
  - Tout à zéro pour ce qui concerne les bits « machine »
- L'adresse de ***broadcast***
  - Broadcast réseau local (tout à 1): 255.255.255.255
  - Broadcast dirigé: tout à 1 pour ce qui concerne les bits « machine » (souvent bloqué par les routeurs)
- L'adresse « ***non spécifiée*** »: 0.0.0.0 (*wildcard* ou *anylocal*)
  - Elle représente la machine locale avant qu'elle ait une adresse
- L'adresse de ***loopback***: 127.0.0.1
- Plages d'adresses réservées non affectées (RFC 1918)
  - 10.0.0.0/8 et 127.0.0.0/8 pour la classe A
  - 169.254.0.0/16 et 172.16.0.0/16 pour la classe B
  - 192.168.0.0/16 pour la classe C

Protocole Internet (rappels)

- RFC 791 (Jon Postel) et STD 0005
  - Acheminement de datagrammes d'un point à un autre du réseau, repérés par des adresses IP
- Principe de **routage de paquet**
  - Chaque datagramme est « routé » indépendamment des autres (**plusieurs chemins possibles**, **non conservation de l'ordre**)
  - Lorsqu'un datagramme est transmis, rien n'assure qu'il arrivera un jour: **non fiable** ou **au mieux** (*best effort*)
- Traversée de plusieurs réseaux physiques différents
  - possibilité de **fragmentation** des paquets

Format des datagrammes (IP v4)



Type Of Service

ICMP (*Internet Control Message Protocol*)

- Permet d'envoyer des informations de contrôle à l'expéditeur d'un datagramme (encapsulées dans IP)
  - utilisé par les commandes `ping` ou `traceroute`.
  - Différents types de datagrammes

```
1. Echo Reply              2. Destination
Unreachable
3. Source Quench           4. Redirect (change
route)
5. Echo Request            6. Time Exceed to
Datagram
7. Parameter Problem on a Datagram
8. Timestamp Request       9. Timestamp Reply
10. Information Request (obsolete)
11. Information Reply (obsolete)
12. Address Mask Request   13. Address Mask Reply
```


Le protocole IP et Java

- API d'accès: **java.net.*;**
- Adresses IP représentées par les instances de la classe **InetAddress**, ou plus précisément de l'une des deux sous-classes
  - **Inet4Address** pour le protocole IPv4 (32 bits)
  - **Inet6Address** pour le protocole IPv6 (128 bits)
- *A priori*, chaque instance représente 2 informations
  - un tableau d'octets (4 ou 16): adresse numérique (*address*)
  - un nom éventuel (DNS, NIS): adresse « littérale » (*host*)
    - Si ce nom existe ou si la résolution de nom inverse a déjà été faite

Représentation des adresses

- L'adresse « littérale » n'est pas nécessairement résolue (peut être remplacée par la chaîne vide)
  - méthode **String toString()** ⇒ www.6bone.net/131.243.129.43 ou encore www.6bone.net/3ffe:b00:c18:1:0:0:0:10
  - méthodes **String getHostName()** ⇒ « www.6bone.net » ou **String getCanonicalHostName()** ⇒ « 6bone.net »
  - méthode **String getHostAddress()** ⇒ "131.243.129.43" (adresse numérique sous forme de String)
  - méthode **byte[] getAddress()** ⇒ {131, 243, 129, 43} (attention, en Java, le type **byte** comme tous les types primtifs numériques est signé!)

Récupération d'une instance (méthodes statiques)

- Adresse IP de la machine locale
  - InetAddress.getLocalHost() (éventuellement adresse de loopback)
- Étant donnée une adresse littérale ou numérique
  - InetAddress.getByName(String host)
  - InetAddress.getAllByName(String host) // tableau
- Étant donné un tableau d'octets (pas de résolution DNS)
  - InetAddress.getByAddress(byte[] addr) // non bloquant
- Étant donné un nom et un tableau d'octets (idem)
  - InetAddress.getByAddress(String host, byte[] addr)
    - création, aucun système de nom interrogé pour vérifier la validité

Exemples de représentations

```
InetAddress ia1 = InetAddress.getByName("java.sun.com");
System.out.println(ia1.toString());    // java.sun.com/192.18.97.71
System.out.println(ia1.getHostName()); // java.sun.com
System.out.println(ia1.getCanonicalHostName()); // flres.java.Sun.COM
System.out.println(ia1.getHostAddress());       // 192.18.97.71
```

```
InetAddress ia2 = InetAddress.getByName("192.18.97.71");
System.out.println(ia2.toString());             //  /192.18.97.71
System.out.println(ia2.getHostName());          // flres.java.Sun.COM
System.out.println(ia2.getCanonicalHostName()); // flres.java.Sun.COM
System.out.println(ia2.getHostAddress());       // 192.18.97.71
```

```
byte[] b = ia2.getAddress();                    // affiche b[0]=-64
for(int i=0; i<b.length; i++) {                 //         b[1]=18
   System.out.println("b["+i+"]="+b[i]);        //         b[2]=97
}                                               //         b[3]=71
```


Exemples de représentation (suite)

```
InetAddress [] ias = InetAddress.getAllByName("www.w3.org");
for(int i = 0; i < ias.length; i++) // affiche: www.w3.org/18.29.1.34
   System.out.println(ias[i]);      //          www.w3.org/18.29.1.35
                                    //          www.w3.org/18.7.14.127
```

- Toutes ces méthodes peuvent lever des exceptions de classe UnknownHostException
  - si le format est incorrect
  - si les arguments de sont pas corrects
  - si la résolution de nom n'aboutit pas

```
InetAddress bidon =
      InetAddress.getByAddress("n.importe.quoi", new byte[]{1,2,3,4});
System.out.println(bidon);       // affiche :   n.importe.quoi/1.2.3.4
bidon = InetAddress.getByName("n.importe.quoi");
                                 // lève java.net.UnknownHostException
```

Observations sur les adresses

méthode	*IP v4*	*IP v6*	*adresses concernées*
isAnyLocalAddress()	0.0.0.0/8	::0	*non spécifiée*
isLoopbackAddress()	127.0.0.0/8	::1	*Loopback*
isLinkLocalAddress()	169.254.0.0/16	fe80::/16	*locale au lien (a)*
isSiteLocalAddress()	10.0.0.0/8 172.16.0.0/12 192.168.0.0/16	fec0::/16	*locale au site (b)*
isMulticastAddress()	224.0.0.0/4	ff00::/8	*Multicast*
isMCGlobal()	de 224.0.1.0 à 238.255.255.255	ffxe::/16	*multicast portée globale*
isMCOrgLocal()	239.192.0.0/14 (a)	ffx8::/16	*mult. port. org.*
isMCSiteLocal()	239.255.0.0/16 (a)	ffx5::/16	*mult. port. site*
isMCLinkLocal()	224.0.0.0/24 (a)	ffx2::/16	*mult. port. lien*
isMCNodeLocal()	aucune (b)	ffx1::/16	*mult. port. noeud*

(a) sous réserve de valeurs de TTL adéquates.
(b) Seul un champ TTL à 0 donne une portée locale en IP v4.

Test de connectivité

- Depuis jdk1.5, possibilité de faire une sorte de ping
  - Depuis une instance de la classe InetAddress, teste si l'adresse qu'elle représente est « atteignable » (*reachable*)
    - Implantation au mieux, mais firewall ou config de serveur peuvent faire en sorte que ça échoue (retourne false) alors que l'@IP est atteignable sur certains port
    - Typiquement, tente un envoi de ECHO REQUEST en ICMP (si privilège ok), ou alors tente d'établir une connexion TCP avec le port 7 (Echo)
  - public boolean isReachable(int timeout) throws IOException
    - Au delà de timeout millisecondes, levée de l'exception
  - public boolean isReachable(NetworkInterface netif, int ttl, int timeout) throws IOException
    - Permet de spécifier l'interface de sortie (null pour n'importe laquelle)
    - et le nombre de sauts maximum des paquets (0 pour défaut)

Test de connectivité : exemples

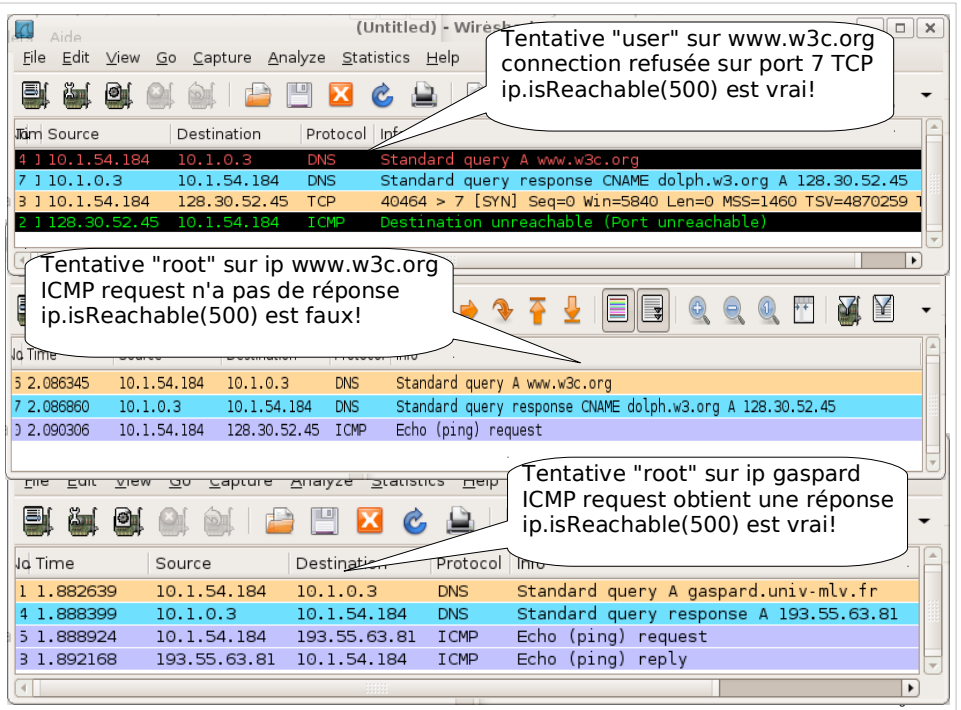
```
public class NameResolution {
   public static void main(String[] args) throws IOException {
      InetAddress inet = InetAddress.getByName(args[0]);
      System.out.println(inet);
      System.out.println("Test de connectivité...");
      if (inet.isReachable(500))
         System.out.println(" réussi.");
      else
         System.out.println(" échoué.");
   }
}
```

- **User**: tentative connexion TCP
  - Accepte ou refuse, mais en général répond
- **Root**: ping (ICMP)
  - Si ne réponds pas aux ICMP Request, échec
  - Si répond, succès

```
User$> java NameResolution www.w3c.org
www.w3c.org/128.30.52.45
Test de connectivité... réussi.
```

```
Root# java NameResolution www.w3c.org
www.w3c.org/128.30.52.45
Test de connectivité... échoué.
```

```
Root# java NameResolution gaspard
gaspard.univ-mlv.fr/193.55.63.81
Test de connectivité... réussi.
```

Interfaces de réseau

- Une interface de réseau est représentée par un objet de la classe java.net.NetworkInterface
  - un nom (lo, eth0, etc..)
  - une liste d'adresses IP associées à cette interface
- Les méthodes statiques permettant d'obtenir des objets de cette classe:
  - java.util.Enumeration<NetworkInterface> getNetworkInterfaces()
  - NetworkInterface getByName(String name)
  - NetworkInterface getByInetAddress(InetAddress addr)
- Peuvent lever des exceptions SocketException

Exemple de représentation

```
for(Enumeration<NetworkInterface> e =
    NetworkInterface.getNetworkInterfaces();
    e.hasMoreElements(); )
  System.out.println(e.nextElement());
// affiche:
//         name:eth0 (eth0) index: 2 addresses:
//         /193.12.34.56;
//
//         name:lo (lo) index: 1 addresses:
//         /127.0.0.1;
```

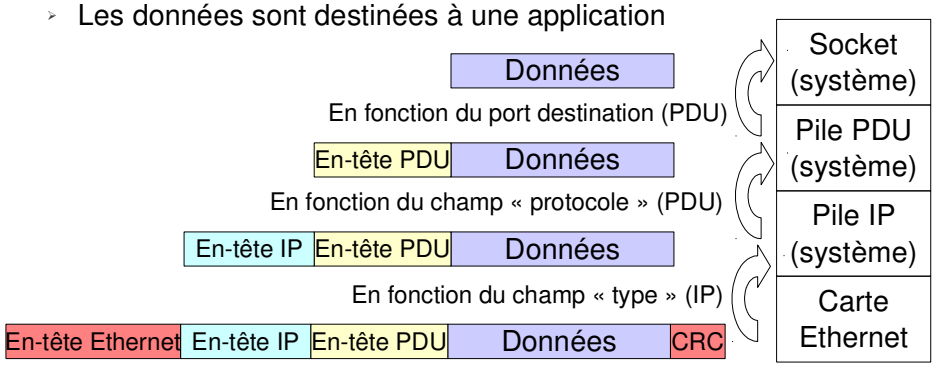
- getInetAddresses() sur une instance renvoit une énumération des adresses IP associées.
  - Principalement utilisé pour spécifier un attachement multicast sur une interface donnée, ou pour dissocier une carte Wifi d'une Ethernet avant qu'elles aient une adresse IP.

Les adresses de socket

- Une socket identifie un point d'attachement à une machine. Selon le protocole, des classes sont dédiées pour représenter ces objets
  - java.net.DatagramSocket pour UDP
  - java.net.Socket pour TCP
- Les adresses de sockets identifient ces points d'attachement indépendamment du protocole
  - java.net.SocketAddress (classe abstraite)
  - *a priori* indépendant du protocole réseau, mais la seule classe concrète est dédiée aux adresses Internet (IP)
    - java.net.InetSocketAddress

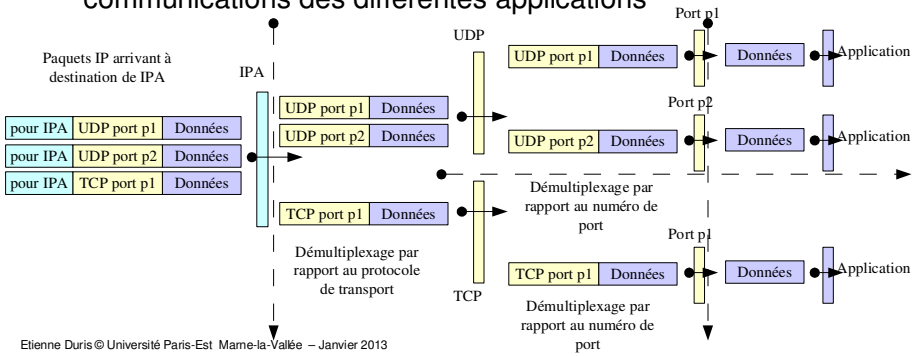
Encapsulation des données

- Une trame Ethernet est adressée à une adresse MAC
- Un paquet IP (couche 3) est destiné à une adresse IP
- Un PDU (couche 4 – UDP ou TCP) est destiné à un port
- Les données sont destinées à une application



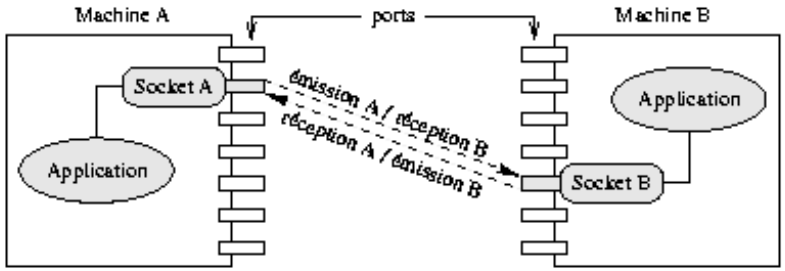
Multiplexage / démultiplexage

- Les applications se lient à des **sockets** pour accéder au réseau
- Ces sockets système sont identifiées par une **adresse IP** et un numéro de port
- Elles permettent de multiplexer/démultiplexer les communications des différentes applications



Le rôle des sockets

- Pour UDP et TCP, les sockets jouent le même rôle et sont identifiées par une adresse IP et un numéro de port.
- Au moins 2 sockets impliquées dans une communication



Adresses de loopback et non spécifiée

- Loopback: ne correspond à aucun réseau physique
  - **127.0.0.1** en IP v4
  - **::1** en IP v6
  - nom en général associé: localhost
- Adresse non spécifiée (*wildcard*): correspond à « n'importe quelle » adresse (*anylocal*)
  - **0.0.0.0** en IP v4
  - **::0** en IP v6
    - En émission, elle vaut **l'une des** adresses IP de la machine locale
    - En réception, elle filtre **toutes** les adresses IP de la machine locale

Classe InetSocketAddress

- java.net.InetSocketAddress
  - adresse IP (InetAddress)
  - numéro de port (int)
- Trois constructeurs acceptant comme arguments
  - InetSocketAddress(InetAddress addr, int port)
    - Si addr est null, la socket est liée à l'adresse wildcard (non spécifiée)
  - InetSocketAddress(int port)
    - l'adresse IP est l'@ wildcard
  - InetSocketAddress(String hostName, int port)
    - Si hostName non résolu, l'adresse de socket est marquée comme étant non résolue
    - Peut être testé grâce à la méthode isUnresolved()

Adresse de socket (suite)

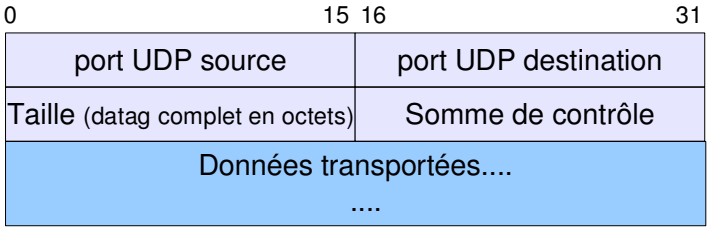
- Tous lèvent une IllegalArgumentException si le numéro de port est en dehors de [0..65535]
- Si le port spécifié vaut 0, un port éphémère sera choisi lors de l'attachement de la socket.
- La méthode toString() affiche **<@ip>:<n°port>**
- ```
  InetSocketAddress sa1 =
      new InetSocketAddress("un.truc.zarb",50);
  System.out.println(sa1+(sa1.isUnresolved()?" non résolue":"résolue"));
      // Affiche : un.truc.zarb:50 non résolue
  InetSocketAddress sa2 =
      new InetSocketAddress("java.sun.com",80);
  System.out.println(sa2 + (sa2.isUnresolved()?" non résolue":" résolue"));
      // Affiche : java.sun.com/192.18.97.71:80 résolue
  ```


Le protocole UDP

- User Datagram Protocol (RFC 768)
  - acheminement de datagrammes au dessus de IP
  - pas de fiabilité supplémentaire assurée
  - assure la préservation des limites de chaque datagramme
  - autorise la diffusion
- Le multiplexage/démultiplexage au niveau des machines se fait *via* la notion de port
  - certains ports sont affectés à des services particuliers
    - RFC 1700 ou www.iana.org/assignments/port-numbers
    - En général, les n° de port inférieurs à 1024 sont réservés

Format

- Taille max des données transportées: $(2^{16}-1-8)$~64Ko
- Checksum optionnel en IP v4, obligatoire en IP v6
  - ajout (pour le calcul) d'un pseudo-en-tête avec @ dest et src



Exemple d'encapsulation dans une trame Ethernet:

Accès Java à UDP

- Classiquement (avant jdk 1.4), l'accès se fait grâce à deux classes et permet de manipuler des tableaux d'octets. Il faut les « **interpréter** » en fonction de l'application: encodage de caractères, format, etc.
- java.net.DatagramSocket
  - représente une socket d'attachement à un port UDP
    - Il en faut une sur chaque machine pour communiquer
- java.net.DatagramPacket qui représente deux choses:
  - Les données qui transitent:
    - un tableau d'octets,
    - l'indice de début et
    - le nombre d'octets
  - La machine distante:
    - son adresse IP
    - son port
  ```

Créer un DatagramSocket

- Représente un objet permettant d'envoyer ou recevoir des datagrammes UDP
- Différents constructeurs acceptant des arguments:
  - InetSocketAddress (@IP+port, éventuellement wildcard)
    - Si null, socket non attachée. À attacher plus tard avec **bind()**
  - port + InetAddress
    - même chose si InetAddress null
  - port seul (attachée à l'adresse *wildcard*)
  - aucun argument
    - (attachée à l'adresse *wildcard* et à un port libre de la machine)
- Peut lever SocketException (problème d'attachement)

Observations sur DatagramSocket

- getLocalPort(), getLocalAddress() et getLocalSocketAddress()
  - retournent les infos sur la socket attachée localement
    - Numéro de port, InetAddress et InetSocketAddress locaux
- bind(SocketAddress)
  - attache la socket si elle ne l'est pas déjà
    - isBound() retourne false
- close()
  - ferme la socket (libère les ressources système associées)
- isClosed()
  - Permet de savoir si la socket est fermée

Créer un DatagramPacket

- Représente un objet spécifiant les données qui doivent transiter ainsi que l'interlocuteur
- Plusieurs constructeurs existent, qui spécifient:
  - les données
    - byte[] buffer
    - int offset
    - int length
  - L'interlocuteur distant
    - soit une InetSocketAddress
    - soit une InetAddress et un numéro de port (int)

Un objet, deux usages

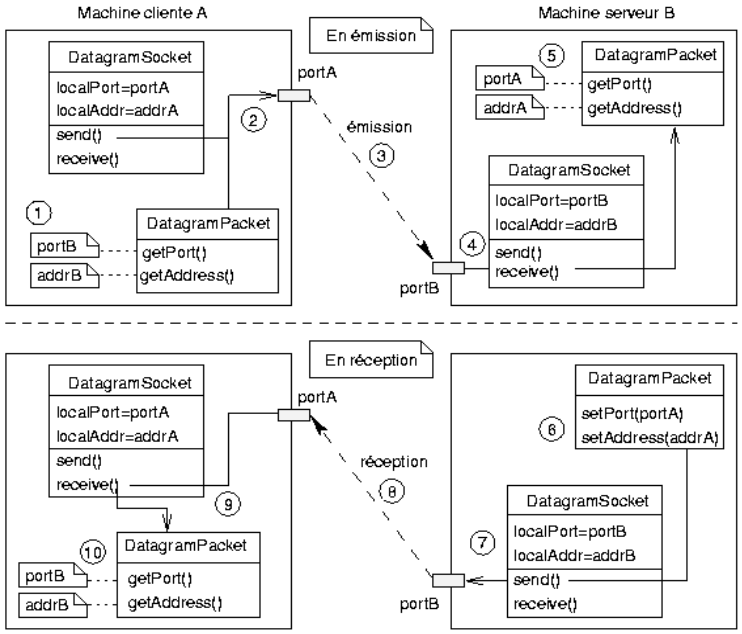
- En émission, le DatagramPacket spécifie
  - les données à envoyer
  - la machine (et le port) vers qui les envoyer
- En réception, le DatagramPacket spécifie
  - la zone de données permettant de recevoir
  - mettra à jour, lors de la réception, la machine et le port depuis lesquels ces données ont été reçues
- Un même objet peut servir aux deux usages

Émission, réception

- Un DatagramPacket est fourni à (et pris en charge par) un DatagramSocket
- Pour émettre:
  datagramSocket.send(datagramPacket);
- Pour recevoir:
  datagramSocket.receive(datagramPacket);
  - Appel bloquant tant que rien n'est reçu
- Peuvent lever différentes IOException

Observations sur DatagramPacket

- Différentes méthodes d'accès aux champs
  - [set/get]Address(), [set/get]Port(), getSocketAddress()
    - Concerne la machine distante (qui a émis ou va recevoir)
  - [set/get]Data(), getOffset(), setLength()
    - permet de spécifier les données ou les bornes dans le tableau d'octets
  - getLength() comportement « normal » en émission mais:
  - getLength() **avant** réception: **taille de la zone** de stockage
  - getLength() **après** réception: **nombre d'octets reçus**



Précisions

- Les données reçues au delà de la taille de la zone de stockage sont perdues
- En pratique, les plateformes limitent le plus souvent à 8K
  - Peuvent se contenter d'accepter 576 octets, en-tête IP comprise
- Le système peut fixer des tailles des tampons de réception et d'émission (pour plusieurs paquets)
  - On peut demander à les changer, sans garantie de succès
    - [get/set]ReceiveBufferSize() et [get/set]SendBufferSize()
- Risque de perte de datagramme:
  - on peut vouloir limiter l'attente en réception
  - socket.setSoTimeout(int milliseconds) interrompt l'attente de réception au delà de milliseconds
    - lève alors une exception SocketTimeoutException

Exemple d'émission (client)

```
// socket sur un port libre et sur l'adresse wildcard
locale
DatagramSocket socket = new DatagramSocket();
// tableau d'octets correspondant à la String "Hello"
byte[] buf = "Hello".getBytes("ASCII");
// création d'un datagramme contenant ces données
// et destiné au port 3333 de la machine de nom serveur
DatagramPacket packet =
   new DatagramPacket(buf, buf.length,
                      InetAddress.getByName("serveur"),
                       3333);
// envoi du datagramme via la socket
socket.send(packet);
```


Exemple de réception (client)

```
// (sur la même socket qui a envoyé "Hello")

// allocation et mise en place d'un buffer pour la réception
byte[] receiveBuffer = new byte[1024];
packet.setData(receiveBuffer);
System.out.println(packet.getLength());
// affiche: 1024 (c'est la taille de la zone de stockage)

// mise en attente de réception
socket.receive(packet);
System.out.println(packet.getLength());
// affiche le nombre d'octets effectivement reçus (<= 1024)

// construction d'une String correspondant aux octets reçus
String s = new String(receiveBuffer, 0,
                      packet.getLength(), "ASCII");
System.out.println(s);
// Quelle est la taille de la zone de stockage ici?
```


Exemple de réception (serveur)

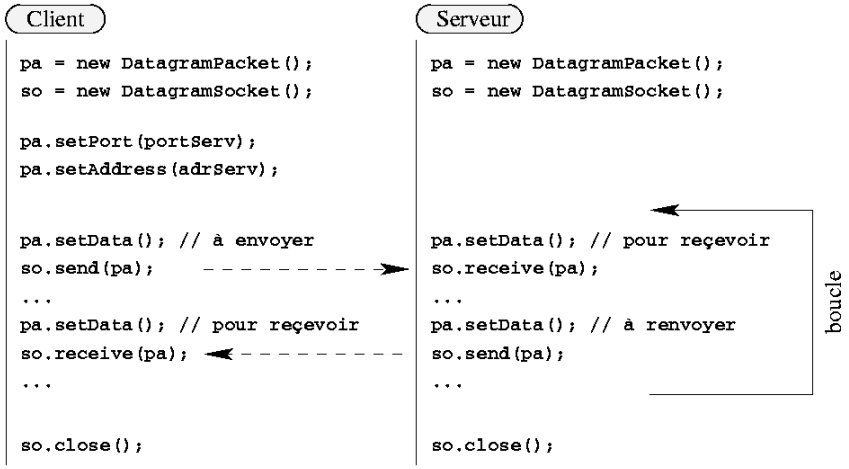
- Dans le cas d'un client, le choix du numéro de port d'attachement de la socket n'a pas d'importance
  - il sera connu par le serveur à la réception du datagramme émis par le client
- En revanche, dans le cas d'un serveur, il doit pouvoir être communiqué aux clients, afin qu'ils puissent l'interroger
  - nécessité d'attacher la socket d'écoute (d'attente des clients) à un port et une adresse spécifique et connue
  - utiliser un constructeur de DatagramSocket le spécifiant
    - risque que le port ne soit pas libre => SocketException

Réception serveur (suite)

```
// socket d'attente de client, attachée au port 3333
DatagramSocket socket = new DatagramSocket(3333);
// datagramme pour la réception avec allocation de buffer
byte[] buf = new byte[1024];
DatagramPacket packet = new DatagramPacket(buf,buf.length);
byte[] msg = "You're welcome!".getBytes("ASCII");
             // message d'accueil

while (true) {
  socket.receive(packet);// attente de réception bloquante
  // place les données à envoyer
  // (@ip et port distant sont déjà ok)
  packet.setData(msg);
  socket.send(packet);              // envoie la réponse
  packet.setData(buf,0,buf.length); // replace la zone de
                                    // réception
}
```

Modèle client-serveur



La pseudo-connexion

- Dans le cas d'un serveur qui doit échanger plusieurs datagrammes consécutifs avec un client
  - possibilité de ne considérer **que** ce client durant ce qu'on appelle une « pseudo-connexion »
  - les sockets du serveur et du client sont dites « paires »
  - connect(InetAddress, int) ou connect(SocketAddress) pour établir la pseudo-connexion
  - disconnect() pour terminer la pseudo-connexion
  - pendant ce temps, tous les datagrammes en provenance d'autres ports/adresses IP sont ignorés
  - informations sur la pseudo-connexion: isConnected(), getInetAddress(), getPort(), getRemoteSocketAddress()

Communication en diffusion

- D'un émetteur vers un groupe ou un ensemble de récepteurs
  - le broadcast utilise les mêmes classes DatagramSocket et DatagramPacket que pour la communication *unicast*, avec une adresse destination de *broadcast*
  - le multicast utilise la classe DatagramPacket pour les datagrammes mais la classe MulticastSocket, spécifique pour les sockets
- Efficace lorsque le protocole de réseau sous-jacent offre la diffusion (ex. Ethernet):
  - un seul datagramme (UDP/IP) peut être utilisé pour joindre plusieurs destinataires
  - Une seule trame (Ethernet) dans le meilleur des cas...

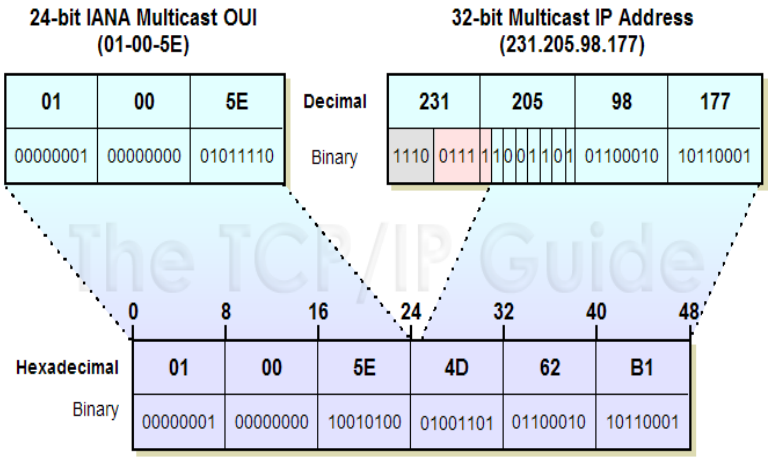
Le broadcast

- La classe DatagramSocket dispose de méthodes [set/get]Broadcast()
  - autorisation pour la socket d'émettre des *broadcasts*
  - SO_BROADCAST true par défaut
- En réception, une socket ne peut recevoir des *broadcasts* que si elle est attachée à l'adresse non spécifiée (*wildcard*)

Le multicast

- On s'adresse à un ensemble de machines (ou applications) ayant explicitement adhéré au groupe
  - adresses de classe D en IP v4: 224.0.0.0/4
  - adresses du réseau FF00::/8 en IP v6
  - les machines ayant rejoint un tel groupe acceptent les datagrammes à destination de l'adresse correspondante
- Traduction d'adresse IP multicast vers IP Ethernet
  - IP v4: l'@ Ethernet est le résultat du OU binaire entre les 23 bits de poids faible de l'adresse IP v4 et 01:00:5E:00:00:00
  - IP v6: l'adresse ffxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:yyyy:yyyy produit l'adresse Ethernet 33:33:yy:yy:yy:yy

Mapping multicast IPv4



http://www.tcpipguide.com/free/diagrams/arpmulticast.png

java.net.MulticastSocket

- Hérite de DatagramSocket
- Trois constructeurs de MulticastSocket
  - sans arguments: attache à un port libre et à l'@ *wildcard*
  - numéro de port: attache à ce port et à l'@ *wildcard*
  - SocketAddress: attache à cette adresse de socket, ou bien n'attache pas la socket si l'argument vaut null
- Les constructeurs appellent la méthode setReuseAddress(true)
  - autorise plusieurs sockets à s'attacher à la même adresse
  - **MÊME PORT** pour tous les membres du groupe

MulticastSocket en émission

- En émission, MulticastSocket s'utilise comme DatagramSocket
  - possibilité de spécifier une adresse IP source pour l'émission des datagrammes: [set/get]Interface()
  - possibilité de spécifier une interface de réseau pour l'émission: [set/get]NetworkInterface()
  - pour émettre vers le groupe, l'adresse de destination et le numéro du port dans le DatagramPacket doivent être ceux du groupe

MulticastSocket en émission (suite)

- On peut spécifier une « durée de vie » pour le datagramme: plus exactement, un nombre de sauts
  - 0=émetteur, 1=réseau local, 16= site, 32=région, 48=pays, 64=continent, 128=monde
  - méthodes [set/get]TimeToLive()
  - vaut 1 par défaut ⇒ propagé par aucun routeur
- Envoi des datagrammes multicast sur loopback
  - [set/get]LoopbackMode() peut être refusé par le système
- Suffit pour envoyer vers le groupe, pas pour recevoir.

MulticastSocket en réception

- Il faut explicitement « rejoindre » le groupe
  - **joinGroup()** avec l'adresse IP multicast du groupe en argument (existe aussi avec SocketAddress et/ou NetworkInterface)
  - permet alors à la socket de recevoir tous les datagrammes destinés à cette adresse multicast
    - Ajoute à l'interface une nouvelle @ IP et une nouvelle @MAC
    - Annonce l'abonnement au groupe à l'intention du MRouteur...
  - peut rejoindre plusieurs groupes de multicast
  - **leaveGroup()** permet de quitter le groupe d'adresse spécifiée en argument

Le protocole TCP

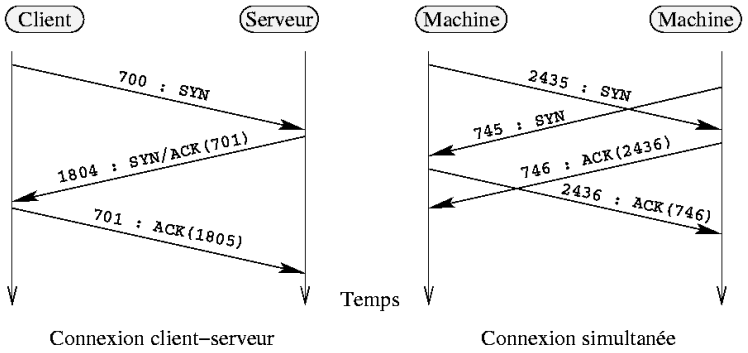
- Transmission Control Protocol, RFC 793
  - Communication
    - par flots,
    - fiable,
    - mode connecté
    - full duplex
  - Données bufferisées, encapsulées dans datagrammes IP
    - flot découpé en segments (~536 octets)
  - Mécanismes de contrôle de flot
    - ex: contrôle de congestion
    - assez lourd d'implantation (beaucoup plus qu'UDP)

Principe des segments

- La fiabilité est obtenue par un mécanisme d'acquittement des segments
  - À l'émission d'un segment, une alarme est amorcée
  - Elle n'est désamorcée que si l'acquittement correspondant est reçu
  - Si elle expire, le segment est réémis
- Chaque segment possède un numéro de séquence
  - préserver l'ordre, éviter les doublons
  - les acquittements sont identifiés par un marqueur ACK
  - transport dans un même segment des données et de l'acquittement des données précédentes: piggybacking

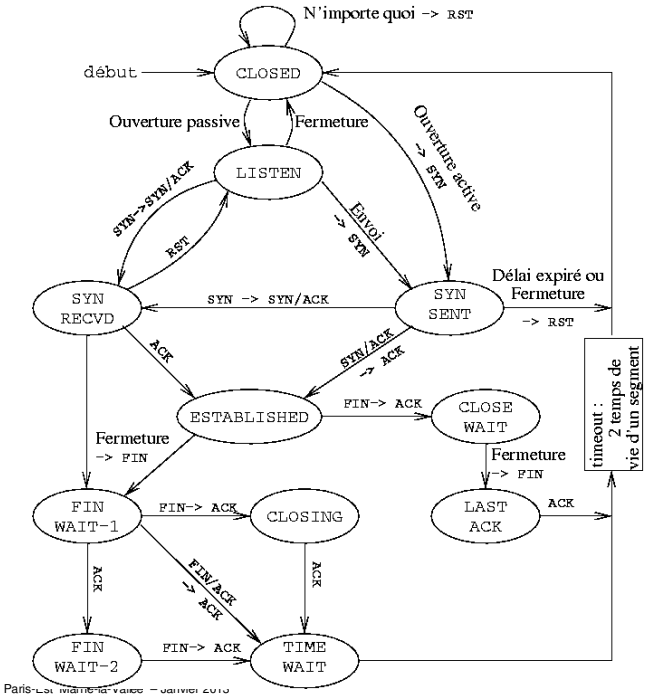
La connexion

- Three Way Handshake:
  - SYN --- SYN/ACK --- ACK

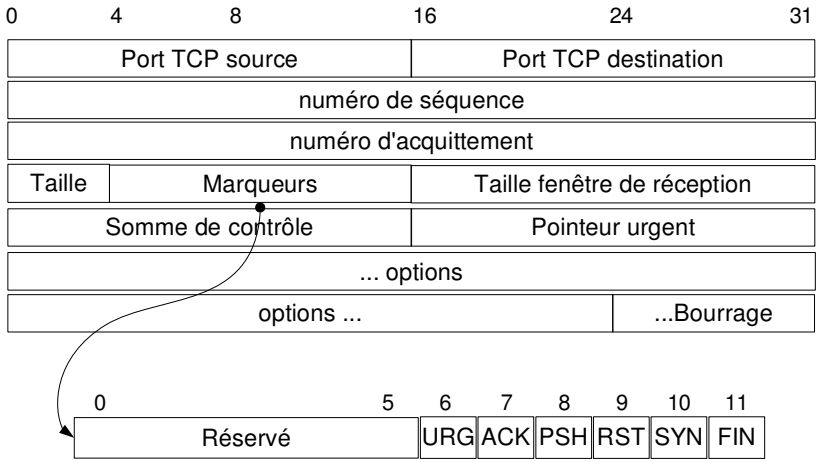


  - Refus de connexion: SYN --- RST/ACK

Diagramme d'états



Format de trame TCP (en-tête)



Format (suite)

- Champ Taille
  - en nombre de mots de 32 bits, la taille de l'en-tête
- Marqueurs
  - URG données urgentes (utilisation conjointe pointeur urgent)
  - ACK acquittement
  - PSH force l'émission immédiate (w.r.t. temporisation par défaut)
  - RST refus de connexion
  - SYN synchronisation pour la connexion
  - FIN terminaison de la connexion
- Somme de contrôle (comme IP v4 avec un pseudo en-tête)
- Options
  - Exemple: taille max. de segment, estampillage temporel

Sockets en Java

- java.net.ServerSocket
  - représente l'objet socket en attente de connexion des clients (du côté serveur)
- java.net.Socket
  - représente une connexion TCP,
    - tant du côté client (instigateur de la connexion par la création d'un objet Socket)
    - que du côté serveur (l'acceptation par une ServerSocket retourne un objet Socket)
- L'attachement se fait, comme en UDP, à une adresse IP et un numéro de port

Socket du côté client

- Construire l'objet Socket, éventuellement l'attacher localement, puis demander sa connexion à la socket d'un serveur
  - Socket(),
    - puis bind(SocketAddress bindPoint) pour attachement local, et
    - connect(SocketAddress) ou connect(SocketAddress, int) pour établir la connexion (int = timeout éventuel)
  - Socket(InetAddress addr, int port)
  - Socket(String host, int port)
  - Socket(InetAddress addr, int port,
    InetAddress localAddr, int localPort)
  - Socket(String host, int port,
    InetAddress localAddr, int localPort)

Les arguments de l'attachement

- Si bind() avec une SocketAddress qui vaut null
  - choisit une adresse valide et un port libre
- Possibilités d'échec de l'attachement local
  - BindException (port demandé déjà occupé)
  - SocketException (la socket est déjà attachée)
    - peut être testé avec isBound()
- Lors du connect(),
  - la socket est automatiquement attachée (si pas déjà fait)
  - inititation du *three way handshake* (ConnectException)
  - méthode bloquante qui retourne normalement si succès

Utiliser la connexion

- Une fois l'objet socket construit, attaché et connecté, la connexion est établie
  - InputStream getInputStream() donne un flot de lecture des données arrivant sur la connexion
  - OutputStream getOutputStream() donne un flot d'écriture sur la connexion
  - les méthodes de lecture (read()) sont bloquantes
    - possibilité de limiter l'attente en lecture par setSoTimeout(int milliseconds)
    - au delà de cette durée, read() lève une SocketTimeoutException

Observations sur les sockets clientes

- Adresse IP et port d'attachement local
  - getLocalAddress(), getLocalPort(), getLocalSocketAddress()
- Adresse IP et port auxquels la socket est connectée
  - getInetAddress(), getPort(), getRemoteSocketAddress()
- Taille des zones tampons
  - [set/get]SendBufferSize(), [set/get]ReceiveBufferSize()
- Fermeture de la connexion: close(), isClosed()
  - la fermeture de l'un des flots ferme les deux sens de communication et la socket

Fermeture de socket

- Possibilité de ne fermer qu'un seul sens (*half-closed*)
  - socket.shutdownOutput() isOutputShutdown()
    - initie le *three way handshake* de déconnexion après l'émission de toutes les données présente dans le buffer d'émission
    - lève une IOException à chaque tentative d'écriture
  - socket.shutdownInput() isInputShutdown()
    - effet local: indication de fin de flot à chaque tentative de lecture
    - effacement après acquittement de toute donnée reçue
  - close() non bloquante,
    - mais socket reste ouverte tant qu'il y a des données
  - setSoLinger(boolean on, int linger_sec)
    - peut rendre la méthode close() bloquante, avec un timeout

Exemple socket cliente

```
// Création de l'objet socket et connexion
Socket s = new Socket(serverName, port);
// Affichage des extrémités de la connexion
System.out.println("Connexion établie entre " +
                   s.getLocalSocketAddress() + " et " +
                   s.getRemoteSocketAddress());
// Récupération d'un flot en écriture et envoi de données
PrintStream ps =
                new PrintStream(s.getOutputStream(),"ASCII");
ps.println("Hello!");
// Récupération d'un flot en lecture et réception de données
// (1 ligne)
BufferedReader br = new BufferedReader(
          new InputStreamReader(s.getInputStream(),"ASCII"));
String line = br.readLine();
System.out.println("Données reçues : " + line);
// si l'échange est fini, fin de connexion
s.close();
```


Configurations des sockets clientes

- Gestion données urgentes
  - sendUrgentData(int octet) côté émetteur
  - setOOBInline(boolean on) Si true, replace les données urgentes dans le flot normal côté récepteur (éliminées par défaut, false)
- Emission forcée
  - setTcpNoDelay(boolean on) pour ne pas temporiser l'émission (débraye l'algorithme de Nagle qui remplit les segments au max.)
- Classe de trafic (*Type Of Service* ou *Flow Label*)
  - [set/get]TrafficClass() permet de manipuler:
    bits 2 (coût monétaire faible), 3 (haute fiabilité), 4 (haut débit)
    et 5 (faible délai). Ex: s.setTrafficClass(0x02 | 0x10);
- Etat de la connexion
  - [set/get]KeepAlive(): (détection de coupure) false par défaut

Socket du côté serveur

- java.net.ServerSocket
  - permet d'attendre les connexions des clients qui, lorsqu'elles sont établies, sont manipulées par un objet de la classe Socket
- Différents constructeurs
  - ServerSocket(), puis bind(SocketAddress sockAddr) ou bind(SocketAddress sockAddr, int nbPendantes)
  - Attachement local de la socket TCP permettant éventuellement de fournir le nombre de connexions pendantes (début du *three way handshake*, mais pas terminé, ou bien connexion **pas encore prise en compte par l'application**)

D'autres constructeurs

- ServerSocket(int port),
  ServerSocket(int port, int nbPen) ou
  ServerSocket(int port, int nbPen, InetAddress addr)
- Si port 0, attachement à un port libre
  - nécessité de le divulguer pour que les clients puissent établir des connexions
- Observations sur l'attachement local:
  - getInetAddress(), getLocalPort() et getLocalSocketAddress()

Acceptation de connexion

- Socket s = serverSock.accept();
  - méthode bloquante, sauf si setSoTimeout() a été spécifié avec une valeur en millisecondes non nulle
  - L'objet Socket retourné est dit « socket de service » et représente la connexion établie (comme du côté client)
  - On peut récupérer les adresses et ports des deux côtés de la connexion grâce à cet objet socket de service
  - Si plusieurs sockets sont retournées par la méthode accept() du même objet ServerSocket, ils sont attachés au même port et à la même adresse IP locale
    => démultiplexage sur ***(ipCli, portCli, ipSer, portSer)***

Exemple de serveur (pas très utile)

```
// Création et attachement d'un objet ServerSocket
ServerSocket ss = new ServerSocket(3333);
while (true) {
  Socket s = ss.accept();  // mise en attente de connexion
  // Récupération des flots de lecture et d'écriture
  BufferedReader br = new BufferedReader(
         new InputStreamReader(s.getInputStream(), "ASCII"));
  PrintStream ps = new PrintStream(
                       s.getOutputStream(), true, "ASCII");
  System.out.println("Reçu: "+br.readLine());
  // Affiche le "Hello" reçu et envoie
  // inlassablement le même message
  ps.println("You're welcome!");
  s.close();
  // Ferme la socket "de service", pour en accepter une autre
}
```

Paramétrage de socket serveur

- Paramètres destinés à configurer les socket clientes acceptées
  - [set/get]ReceiveBufferSize(), [set/get]ReuseAddress()
- Modifier l'implantation des sockets
  - setSocketFactory(SocketImplFactory fac)

Vue schématique d'une communication