Cours Programmation Réseau : Socket TCP/UDP

Sommaire

L'interface socket

Pré-requis

La mise en oeuvre de l'interface socket nécessite de connaître :
– L'architecture client/serveur
– L'adressage IP et les numéros de port
– Notions d'API (appels systèmes sous Unix) et de programmation en langage C
– Les protocoles TCP et UDP, les modes connecté et non connecté

Définition

> *« La notion de socket a été introduite dans les distributions de Berkeley (un fameux système de type UNIX, dont beaucoup de distributions actuelles utilisent des morceaux de code), c'est la raison pour laquelle on parle parfois de sockets BSD (Berkeley Software Distribution).*

Interface de programmation «*socket*» de Berkeley (1982) : la plus utilisée et intégrée dans le noyau

Il s'agit d'un modèle permettant la communication inter processus (IPC - *Inter Process Communication*) afin de permettre à divers processus de communiquer aussi bien sur une même machine qu'à travers un réseau TCP/IP. » [Wikipedia]

Socket : mécanisme de communication bidirectionelle entre processus

Manuel du pogrammeur

Le développeur utilisera donc concrètement une interface pour programmer une application TCP/IP grâce par exemple :
– à l'API **Socket BSD** sous Unix/Linux ou
– à l'API **WinSocket** sous Microsoft ©Windows

Les pages man principales sous Unix/Linux concernant la programmation réseau sont regroupées dans le chapitre 7 :

– socket(7) : interface de programmation des sockets
– packet(7) : interface par paquet au niveau périphérique
– raw(7) : sockets brutes (raw) IPv4 sous Linux
– ip(7) : implémentation Linux du protocole IPv4
– udp(7) : protocole UDP pour IPv4
– tcp(7) : protocole TCP

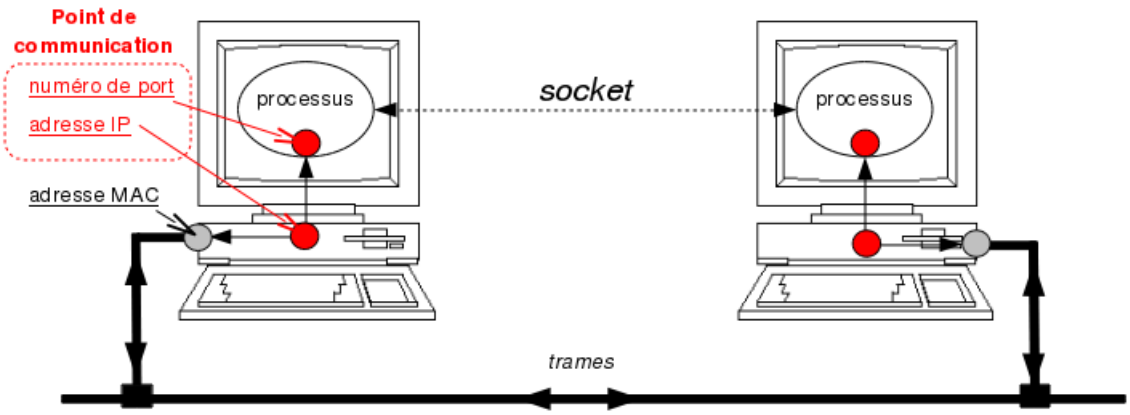
L'accès aux pages man se fera donc avec la commande `man`, par exemple : `man 7 socket`

Pour Microsoft ©Windows, on pourra utiliser le service en ligne MSDN :

– Windows Socket 2 : msdn.microsoft.com/en-us/library/ms740673(VS.85).aspx
– Les fonctions Socket : msdn.microsoft.com/en-us/library/ms741394(VS.85).aspx

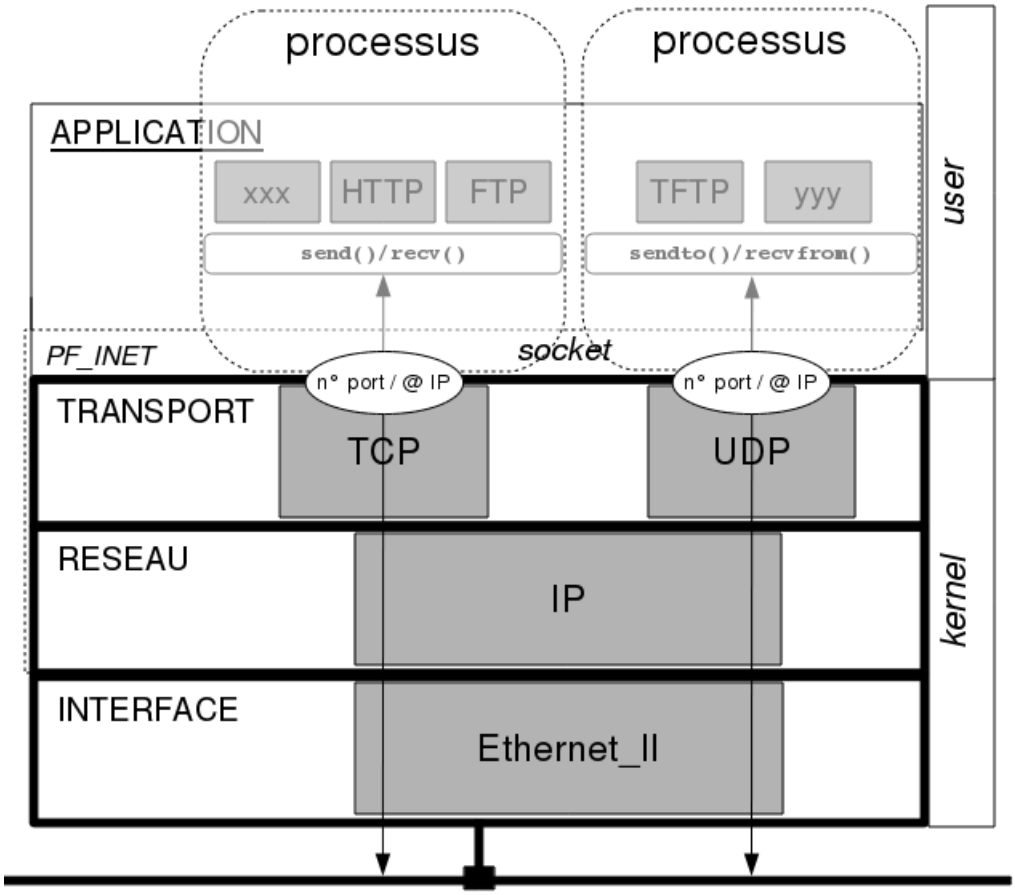
Modèle

Rappel : une socket est un point de communication par lequel un processus peut émettre et recevoir des données.



Ce point de communication devra être relié à une adresse IP et un numéro de port dans le cas des protocoles Internet.

Une socket est communément représentée comme un point d'entrée initial au niveau TRANSPORT du modèle à couches DoD dans la pile de protocole.



Exemple de processus TCP et UDP

Couche Transport

Rappel : la couche Transport est responsable du transport des messages complets de bout en bout (soit de processus à processus) au travers du réseau.

En programmation, si on utilise comme point d'entrée initial le niveau TRANSPORT, il faudra alors choisir un des deux protocoles de cette couche :
- **TCP** (*Transmission Control Protocol*) est un protocole de transport fiable, en **mode connecté** (RFC 793).
- **UDP** (*User Datagram Protocol*) est un protocole souvent décrit comme étant non-fiable, en **mode non-connecté** (RFC 768), mais plus rapide que TCP.

Numéro de ports

Rappel : un numéro de port sert à identifier un processus (l'application) en cours de communication par l'intermédiaire de son protocole de couche application (associé au service utilisé, exemple : 80 pour HTTP).

Pour chaque port, un numéro lui est attribué (codé sur 16 bits), ce qui implique qu'il existe un maximum de 65 536 ports (2^{16}) par machine et par protocoles TCP et UDP.

L'attribution des ports est faite par le système d'exploitation, sur demande d'une application. Ici, il faut distinguer les deux situations suivantes :
- cas d'un **processus client** : le numéro de port utilisé par le client sera envoyé au processus serveur. Dans ce cas, le processus client peut demander à ce que le système d'exploitation lui attribue n'importe quel port, à condition qu'il ne soit pas déjà attribué.
- cas d'un **processus serveur** : le numéro de port utilisé par le serveur doit être connu du processus client. Dans ce cas, le processus serveur doit demander un numéro de port précis au système d'exploitation qui vérifiera seulement si ce numéro n'est pas déjà attribué.

Une liste des ports dits réservés est disponible dans le fichier /etc/services sous Unix/Linux.

Caractéristiques des sockets

Rappel : les sockets compatibles BSD représentent une interface uniforme entre le processus utilisateur (user) et les piles de protocoles réseau dans le noyau (kernel) de l'OS.

Pour dialoguer, chaque processus devra préalablement créer une socket de communication en indiquant :
- le **domaine** de communication : ceci sélectionne la famille de protocole à employer. Il faut savoir que chaque famille possède son adressage. Par exemple pour les protocoles Internet IPv4, on utilisera le domaine `PF_INET` ou `AF_INET` et `AF_INET6` pour le protocole IPv6.
- le **type** de socket à utiliser pour le dialogue. Pour `PF_INET`, on aura le choix entre : `SOCK_STREAM` (qui correspond à un mode connecté donc `TCP` par défaut), `SOCK_DGRAM` (qui correspond à un mode non connecté donc `UDP`) ou `SOCK_RAW` (qui permet un accès direct aux protocoles de la couche Réseau comme IP, ICMP, ...).
- le **protocole** à utiliser sur la socket. Le numéro de protocole dépend du domaine de communication et du type de la socket. Normalement, il n'y a qu'un seul protocole par type de socket pour une famille donnée (`SOCK_STREAM` → `TCP` et `SOCK_DGRAM` → `UDP`). Néanmoins, rien ne s'oppose à ce que plusieurs protocoles existent, auquel cas il est nécessaire de le spécifier (c'est la cas pour `SOCK_RAW` où il faudra préciser le protocole à utiliser).

Une socket appartient à une famille. Il existe plusieurs types de sockets. Chaque famille possède son adressage.

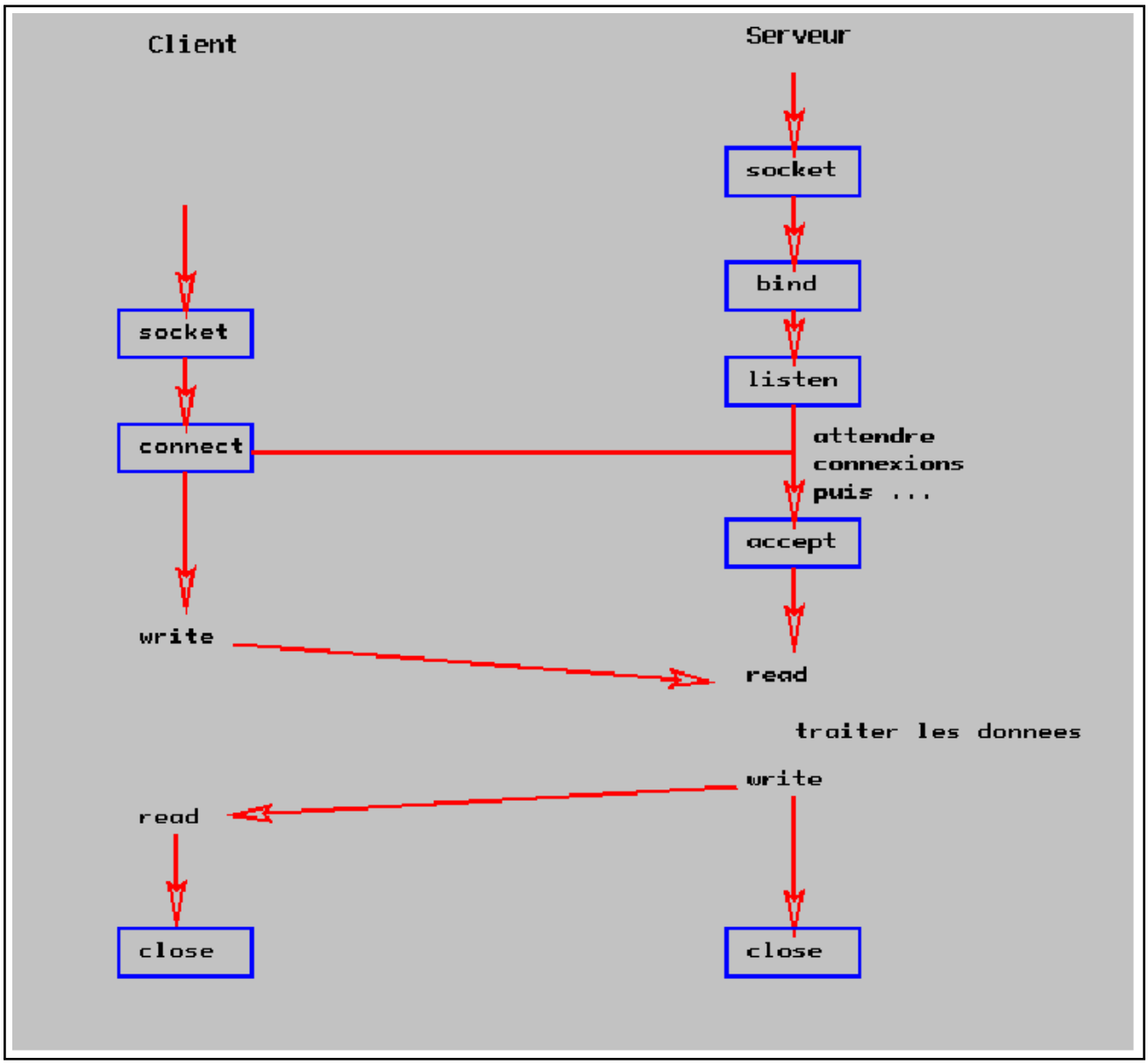
Programmation TCP (Linux)

Objectifs

L'objectif de cette partie est la mise en oeuvre d'une communication client/serveur en utilisant une socket TCP sous Unix/Linux.

Diagramme d'échanges

L'échange entre un client et un serveur TCP peut être schématisé de la manière suivante :



Les appels systèmes utilisés dans un échange TCP

Étape n°1 : création de la socket (côté client)

Pour créer une socket, on utilisera l'appel système `socket()`. On commence par consulter la page du manuel associée à cet appel :

```
$ man 2 socket

SOCKET(2)                    Manuel du programmeur Linux                    SOCKET(2)

NOM
       socket - Créer un point de communication

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int socket(int domain, int type, int protocol);

DESCRIPTION
       socket() crée un point de communication, et renvoie un descripteur.
       ...

VALEUR RENVOYÉE
       Cet  appel  système renvoie un  descripteur référençant la socket créée s'il réussit.
       S'il échoue, il renvoie -1 et errno contient le code d'erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système socket

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int main()
{
   int descripteurSocket;

   //--- Début de l'étape n°1 :
   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
       protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(descripteurSocket < 0) /* échec ? */
   {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }

   //--Fin de l'étape n°1 !
   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(descripteurSocket);
```



```
   return 0;
}
```

Étape n°1 : création de la socket (côté client)

Pour le paramètre `protocol`, on a utilisé la valeur 0 (voir commentaire). On aurait pu préciser le protocole TCP de la manière suivante : `IPPROTO_TCP`.

Étape n°2 : connexion au serveur

Maintenant que nous avons créé une socket TCP, il faut la connecter au processus serveur distant.

Pour cela, on va utiliser l'appel système `connect()`. On consulte la page du manuel associée à cet appel :

```
$ man 2 connect

CONNECT(2)                    Manuel du programmeur Linux                    CONNECT(2)

NOM
       connect - Débuter une connexion sur une socket

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int connect(int sockfd, const struct sockaddr *serv_addr,
                   socklen_t addrlen);

DESCRIPTION
       L'appel système connect() connecte la socket référencée par le descripteur de fichier
       sockfd à l'adresse indiquée par serv_addr. ...

VALEUR RENVOYÉE
       connect() renvoie 0 s'il réussit, ou -1 s'il échoue, auquel cas errno contient le
          code d'erreur. ...
```

Extrait de la page man de l'appel système connect

On rappelle que l'adressage du processus distant dépend du **domaine** de communication (cad la famille de protocole employée). Ici, nous avons choisi le domaine `PF_INET` pour les protocoles Internet IPv4.

Dans cette famille, un processus sera identifié par :
– une adresse IPv4
– un numéro de port

L'interface socket propose une structure d'adresse générique :

```
struct sockaddr
{
  unsigned short int sa_family; //au choix
  unsigned char sa_data[14];  //en fonction de la famille
};
```

La structure générique ***sockaddr***

Et le domaine PF_INET utilise une structure compatible :

```
// Remarque : ces structures sont déclarées dans <netinet/in.h>

struct in_addr { unsigned int s_addr; }; // une adresse Ipv4 (32 bits)

struct sockaddr_in
{
  unsigned short int sin_family; // <- PF_INET
  unsigned short int sin_port; // <- numéro de port
  struct in_addr sin_addr; // <- adresse IPv4
  unsigned char sin_zero[8];  // ajustement pour être compatible avec sockaddr
};
```

La structure compatible ***sockaddr_in*** *pour PF_INET*

Il suffit donc d'initialiser une structure sockaddr_in avec les informations distantes du serveur (adresse IPv4 et numéro de port).

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
- inet_aton() pour convertir une **adresse IP** depuis la notation IPv4 décimale pointée vers une forme binaire (dans l'ordre d'octet du réseau)
- htons() pour convertir le **numéro de port** (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

L'ordre des octets du réseau est en fait *big-endian*. Il est donc plus prudent d'appeler des fonctions qui respectent cet ordre pour coder des informations dans les en-têtes des protocoles réseaux.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons et inet_aton */

int main()
{
   int descripteurSocket;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant;
   socklen_t longueurAdresse;

   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(descripteurSocket < 0) {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }

   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

   //--- Début de l'étape n°2 :
```



```
   // Obtient la longueur en octets de la structure sockaddr_in
   longueurAdresse = sizeof(pointDeRencontreDistant);
   // Initialise à 0 la structure sockaddr_in
   memset(&pointDeRencontreDistant, 0x00, longueurAdresse);
   // Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations du serveur distant
   pointDeRencontreDistant.sin_family = PF_INET;
   // On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
   pointDeRencontreDistant.sin_port = htons(IPPORT_USERRESERVED); // = 5000
   // On choisit l'adresse IPv4 du serveur
   inet_aton("192.168.52.2", &pointDeRencontreDistant.sin_addr); // à modifier selon ses
       besoins

   // Débute la connexion vers le processus serveur distant
   if((connect(descripteurSocket, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreDistant,
       longueurAdresse)) == -1)
   {
      perror("connect"); // Affiche le message d'erreur
      close(descripteurSocket); // On ferme la ressource avant de quitter
      exit(-2); // On sort en indiquant un code erreur
   }

   //--- Fin de l'étape n°2 !
   printf("Connexion au serveur réussie avec succès !\n");

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(descripteurSocket);
   return 0;
}
```

Étape n°2 : connexion au serveur

Si vous testez ce client, vous risquez d'obtenir :

```
$ ./clientTCP-2
Socket créée avec succès ! (3)
connect: Connection refused
```

Ceci peut s'expliquer tout simplement parce qu'il n'y a pas de processus serveur à cette adresse !

Étape n°3 : vérification du bon fonctionnement de la connexion

Pour tester notre client, il nous faut un serveur ! Pour cela, on va utiliser l'outil réseau `netcat` en mode serveur (`-l`) sur le port 5000 (`-p 5000`) :

```
$ nc -l -p 5000
```

Puis :

```
$ ./clientTCP-2
Socket créée avec succès ! (3)
Connexion au serveur réussie avec succès !
```

Dans l'architecture client/serveur, on rappelle que c'est le client qui a l'initiative de l'échange. Il faut donc que le serveur soit en écoute avant que le client fasse sa demande.

Étape n°4 : échange des données

On rappelle qu'une communication TCP est bidirectionnelle *full duplex* et orientée flux d'octets. Il nous faut donc des fonctions pour écrire (envoyer) et lire (recevoir) des octets dans la socket.

Normalement les octets envoyés ou reçus respectent un protocole de couche APPLICATION. Ici, pour les tests, notre couche APPLICATION sera vide ! C'est-à-dire que les données envoyées et reçues ne respecteront aucun protocole et ce seront de simples caractères ASCII.

Les fonctions d'échanges de données sur une socket TCP sont :

- `read()` et `write()` qui permettent la réception et l'envoi d'octets sur un descripteur de socket
- `recv()` et `send()` qui permettent la réception et l'envoi d'octets sur un descripteur de socket avec un paramètre `flags`

Les appels `recv()` et `send()` sont spécifiques aux sockets en mode connecté. La seule différence avec `read()` et `write()` est la présence de `flags` (cf. `man 2 send`).

Faire communiquer deux processus sans aucun protocole de couche APPLICATION est tout de même difficile ! On va simplement fixer les règles d'échange suivantes :

- le client envoie en premier une chaîne de caractères
- et le serveur lui répondra "ok"

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons et inet_aton */

#define LG_MESSAGE 256

int main()
{
   int descripteurSocket;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant;
   socklen_t longueurAdresse;
   char messageEnvoi[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
   char messageRecu[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
   int ecrits, lus; /* nb d'octets ecrits et lus */
   int retour;

   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
       protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(descripteurSocket < 0) /* échec ? */
   {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
```



```
   exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
}

printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

// Obtient la longueur en octets de la structure sockaddr_in
longueurAdresse = sizeof(pointDeRencontreDistant);
// Initialise à 0 la structure sockaddr_in
memset(&pointDeRencontreDistant, 0x00, longueurAdresse);
// Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations du serveur distant
pointDeRencontreDistant.sin_family = PF_INET;
// On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
pointDeRencontreDistant.sin_port = htons(IPPORT_USERRESERVED); // = 5000
// On choisit l'adresse IPv4 du serveur
inet_aton("192.168.52.2", &pointDeRencontreDistant.sin_addr); // à modifier selon ses
    besoins

// Débute la connexion vers le processus serveur distant
if((connect(descripteurSocket, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreDistant,
    longueurAdresse)) == -1)
{
   perror("connect"); // Affiche le message d'erreur
   close(descripteurSocket); // On ferme la ressource avant de quitter
   exit(-2); // On sort en indiquant un code erreur
}

printf("Connexion au serveur réussie avec succès !\n");

//--- Début de l'étape n°4 :
// Initialise à 0 les messages
memset(messageEnvoi, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));
memset(messageRecu, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));

// Envoie un message au serveur
sprintf(messageEnvoi, "Hello world !\n");
ecrits = write(descripteurSocket, messageEnvoi, strlen(messageEnvoi)); // message à
    TAILLE variable
switch(ecrits)
{
   case -1 : /* une erreur ! */
      perror("write");
      close(descripteurSocket);
      exit(-3);
   case 0 : /* la socket est fermée */
      fprintf(stderr, "La socket a été fermée par le serveur !\n\n");
      close(descripteurSocket);
      return 0;
   default: /* envoi de n octets */
      printf("Message %s envoyé avec succès (%d octets)\n\n", messageEnvoi, ecrits);
}

/* Reception des données du serveur */
```



```
   lus = read(descripteurSocket, messageRecu, LG_MESSAGE*sizeof(char)); /* attend un message
       de TAILLE fixe */
   switch(lus)
   {
      case -1 : /* une erreur ! */
         perror("read");
         close(descripteurSocket);
         exit(-4);
      case 0 : /* la socket est fermée */
         fprintf(stderr, "La socket a été fermée par le serveur !\n\n");
         close(descripteurSocket);
         return 0;
      default: /* réception de n octets */
         printf("Message reçu du serveur : %s (%d octets)\n\n", messageRecu, lus);
   }
   //--- Fin de l'étape n°4 !

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(descripteurSocket);

   return 0;
}
```

Étape n°4 : échange des données

On utilise la même procédure de test que précédemment en démarrant un serveur `netcat` sur le port 5000 :

```
$ nc -l -p 5000
```

Puis, on exécute notre client :

```
$ ./clientTCP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

Message reçu du serveur : ok
 (3 octets)
```

Dans la console où on a exécuté le serveur `netcat`, cela donne :

```
$ nc -l -p 5000
Hello world !
ok
```

Dans `netcat`, pour envoyer des données au client, il suffit de saisir son message et de valider par la touche Entrée.

Que se passe-t-il si le serveur s'arrête (en tapant Ctrl-C par exemple !) au lieu d'envoyer "ok" ?

```
$ nc -l -p 5000
Hello world !
^C
```

```
$ ./clientTCP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

La socket a été fermée par le serveur !
```

Notre client a bien détecté la fermeture de la socket côté serveur.

Dans les codes sources ci-dessus, nous avons utilisés l'appel `close()` pour fermer la socket et donc la communication. En TCP, la communication étant bidirectionnelle *full duplex*, il est possible de fermer plus finement l'échange en utilisant l'appel `shutdown()` :

```
$ man 2 shutdown

SHUTDOWN(2)                    Manuel du programmeur Linux                    SHUTDOWN(2)

NOM
       shutdown - Terminer une communication en full-duplex

SYNOPSIS
       #include <sys/socket.h>

       int shutdown(int s, int how);

DESCRIPTION
       La fonction shutdown() termine tout ou partie d'une connexion full-duplex sur la
           socket s. Si how vaut SHUT_RD, la réception est désactivée.
       Si how vaut SHUT_WR, l'émission est désactivée. Si how vaut SHUT_RDWR, l'emission et
           la réception sont désactivées.

VALEUR RENVOYÉE
       Cet  appel système renvoie 0 s'il réussit, ou -1 s'il échoue, auquel cas errno
           contient le code d'erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système shutdown

Étape n°5 : réalisation d'un serveur TCP

Évidemment, un serveur TCP a lui aussi besoin de créer une socket `SOCK_STREAM` dans le domaine `PF_INET`.

Mis à part cela, le code source d'un serveur TCP basique est très différent d'un client TCP dans le principe. On va détailler ces différences étape par étape.

On rappelle qu'un serveur TCP attend des demandes de connexion en provenance de processus client. Le processus client doit connaître au moment de la connexion le numéro de port d'écoute du serveur.

Pour mettre en oeuvre cela, le serveur va utiliser l'appel système `bind()` qui va lui permettre de lier sa socket d'écoute à une interface et à un numéro de port local à sa machine.

```
$ man 2 bind

BIND(2)                        Manuel du programmeur Linux                        BIND(2)
```



```
NOM
       bind - Fournir un nom à une socket

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int bind(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
               socklen_t addrlen);

DESCRIPTION
       Quand une socket est créée avec l'appel système socket(2), elle existe dans l'espace
       des noms mais n'a pas de nom assigné). bind() affecte l'adresse spécifiée dans addr à
       la socket référencée par le descripteur de fichier sockfd. addrlen indique la taille,
       en octets, de la structure d'adresse pointée par addr. Traditionnellement cette
       opération est appelée « affectation d'un nom à une socket ».

       Il est normalement nécessaire d'affecter une adresse locale avec bind() avant qu'une
       socket SOCK_STREAM puisse recevoir des connexions (voir accept(2)).

       Les règles d'affectation de nom varient suivant le domaine de communication.
       ...

VALEUR RENVOYÉE
       L'appel renvoie 0 s'il réussit, ou -1 s'il échoue, auquel cas errno contient le code
       d'erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système bind

On rappelle que l'adressage d'un processus (local ou distant) dépend du **domaine** de communication (cad la famille de protocole employée). Ici, nous avons choisi le domaine `PF_INET` pour les protocoles Internet IPv4.

Dans cette famille, un processus sera identifié par :
- une adresse IPv4
- un numéro de port

Rappel : l'interface socket propose une structure d'adresse générique ***`sockaddr`*** *et le domaine* ***`PF_INET`*** *utilise une structure compatible* ***`sockaddr_in`***.

Il suffit donc d'initialiser une structure `sockaddr_in` avec les informations **locales du serveur** (adresse IPv4 et numéro de port).

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
- `htonl()` pour convertir une adresse IP (sur 32 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau
- `htons()` pour convertir le numéro de port (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

Normalement il faudrait indiquer l'adresse IPv4 de l'interface locale du serveur qui acceptera les demandes de connexions. Il est ici possible de préciser avec `INADDR_ANY` que toutes les interfaces locales du serveur accepteront les demandes de connexion des clients.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons et inet_aton */
#include <unistd.h> /* pour sleep */

#define PORT IPPORT_USERRESERVED // = 5000

int main()
{
   int socketEcoute;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal;
   socklen_t longueurAdresse;

   //--- Début de l'étape n°5 :
   // Crée un socket de communication
   socketEcoute = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
       protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(socketEcoute < 0) /* échec ? */
   {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }

   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", socketEcoute);

   // On prépare l'adresse d'attachement locale
   longueurAdresse = sizeof(struct sockaddr_in);
   memset(&pointDeRencontreLocal, 0x00, longueurAdresse);
   pointDeRencontreLocal.sin_family = PF_INET;
   pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // toutes les interfaces
       locales disponibles
   pointDeRencontreLocal.sin_port = htons(PORT); // = 5000

   // On demande l'attachement local de la socket
   if((bind(socketEcoute, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreLocal, longueurAdresse)) < 0)
   {
      perror("bind");
      exit(-2);
   }

   //--- Fin de l'étape n°5 !
   printf("Socket attachée avec succès !\n");

   // On s'endort ... (cf. test)
   sleep(2);

   // On ferme la ressource avant de quitter
```

```
   close(socketEcoute);

   return 0;
}
```

Étape n°5 : réalisation d'un serveur TCP

Le test est concluant :

```
$ ./serveurTCP-1
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
```

Attention, tout de même de bien comprendre qu'un numéro de port identifie un processus communiquant ! Exécutons deux fois le même serveur et on obtient alors :

```
$ ./serveurTCP-1 & ./serveurTCP-1
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Socket créée avec succès ! (3)
bind: Address already in use
```

Explication : l'attachement local au numéro de port 5000 du deuxième processus échoue car ce numéro de port est déjà attribué par le système d'exploitation au premier processus serveur.

Étape n°6 : mise en attente des connexions

Maintenant que le serveur a créé et attaché une socket d'écoute, il doit la placer en attente passive, c'est-à-dire capable d'accepter les demandes de connexion des processus clients.

Pour cela, on va utiliser l'appel système `listen()` :

```
$ man 2 listen

LISTEN(2)                    Manuel du programmeur Linux                    LISTEN(2)

NOM
       listen - Attendre des connexions sur une socket

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int listen(int sockfd, int backlog);

DESCRIPTION
       listen() marque la socket référencée par sockfd comme une socket passive, c'est-à-
           dire comme une socket qui sera utilisée pour accepter les demandes de connexions
           entrantes en utilisant accept().

       L'argument sockfd est un descripteur de fichier qui fait référence à une socket de
           type SOCK_STREAM.
```

```
       L'argument backlog définit une longueur maximale jusqu'à laquelle la file des
           connexions en attente pour sockfd peut croître. Si une nouvelle connexion arrive
           alors que la file est pleine, le client reçoit une erreur indiquant ECONNREFUSED,
           ou, si le protocole sous-jacent supporte les retransmissions, la requête peut être
            ignorée afin qu'un nouvel essai réussisse.

VALEUR RENVOYÉE
       Cet appel système renvoie 0 si il réussit, ou -1 en cas d'échec, auquel cas errno est
       renseignée en conséquence.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système listen

Si la file est pleine, le serveur sera dans une situation de DOS (*Deny Of Service*) car il ne peut plus traiter les nouvelles demandes de connexion.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons et inet_aton */
#include <unistd.h> /* pour sleep */

#define PORT IPPORT_USERRESERVED // = 5000

int main()
{
   int socketEcoute;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal;
   socklen_t longueurAdresse;

   // Crée un socket de communication
   socketEcoute = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
       protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(socketEcoute < 0) {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }
   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", socketEcoute);

   // On prépare l'adresse d'attachement locale
   longueurAdresse = sizeof(struct sockaddr_in);
   memset(&pointDeRencontreLocal, 0x00, longueurAdresse);
   pointDeRencontreLocal.sin_family = PF_INET;
   pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // toutes les interfaces
       locales disponibles
   pointDeRencontreLocal.sin_port = htons(PORT); // = 5000

   // On demande l'attachement local de la socket
```

```
   if((bind(socketEcoute, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreLocal, longueurAdresse)) < 0)
   {
      perror("bind");
      exit(-2);
   }
   printf("Socket attachée avec succès !\n");

   //--- Début de l'étape n°6 :
   // On fixe la taille de la file d'attente à 5 (pour les demandes de connexion non encore
       traitées)
   if(listen(socketEcoute, 5) < 0)
   {
      perror("listen");
      exit(-3);
   }

   //--- Fin de l'étape n°6 !
   printf("Socket placée en écoute passive ...\n");

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(socketEcoute);
   return 0;
}
```

Étape n°6 : mise en attente des connexions

Étape n°7 : accepter les demandes connexions

Cette étape est cruciale pour le serveur. Il lui faut maintenant accepter les demandes de connexion en provenance des processus client.

Pour cela, il va utiliser l'appel système `accept()` :

```
$ man 2 accept

ACCEPT(2)                       Manuel du programmeur Linux                       ACCEPT(2)

NOM
       accept - Accepter une connexion sur une socket

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int accept(int sockfd, struct sockaddr *adresse, socklen_t *longueur);

DESCRIPTION
       L'appel système accept() est employé avec les sockets utilisant un protocole en mode
           connecté SOCK_STREAM. Il extrait la première connexion de la file des connexions
           en attente de la socket sockfd à l'écoute, crée une nouvelle socket connectée, et
           renvoie un nouveau descripteur de fichier qui fait référence à cette socket.
       La  nouvelle socket n'est pas en état d'écoute. La socket originale sockfd n'est pas
           modifiée par l'appel système.
...
```

```
VALEUR RENVOYÉE
       S'il réussit, accept() renvoie un entier non négatif, constituant un descripteur pour
           la nouvelle socket. S'il échoue, l'appel renvoie -1 et errno contient le code d'
          erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système accept

Explication : imaginons qu'un client se connecte à notre socket d'écoute. L'appel accept() va retourner une nouvelle socket connectée au client qui servira de socket de dialogue. La socket d'écoute reste inchangée et peut donc servir à accepter des nouvelles connexions.

Le principe est simple mais un problème apparaît pour le serveur : comment dialoguer avec le client connecté et continuer à attendre des nouvelles connexions ? Il y a plusieurs solutions à ce problème notamment la programmation multi-tâche car ici le serveur a besoin de paralléliser plusieurs traitements.

On va pour l'instant ignorer ce problème et mettre en oeuvre un serveur basique : c'est-à-dire mono-client (ou plus exactement un client après l'autre) !

Concernant le dialogue, on utilisera au choix les mêmes fonctions (`read()`/`write()` ou `recv()`/`send()`) que le client.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons et inet_aton */
#include <unistd.h> /* pour sleep */

#define PORT IPPORT_USERRESERVED // = 5000

#define LG_MESSAGE 256

int main()
{
   int socketEcoute;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal;
   socklen_t longueurAdresse;
   int socketDialogue;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant;
   char messageEnvoi[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
   char messageRecu[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
   int ecrits, lus; /* nb d'octets ecrits et lus */
   int retour;

   // Crée un socket de communication
   socketEcoute = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
      protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
```



```
if(socketEcoute < 0) /* échec ? */
{
   perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
   exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
}

printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", socketEcoute);

// On prépare l'adresse d'attachement locale
longueurAdresse = sizeof(struct sockaddr_in);
memset(&pointDeRencontreLocal, 0x00, longueurAdresse);
pointDeRencontreLocal.sin_family    = PF_INET;
pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // toutes les interfaces
    locales disponibles
pointDeRencontreLocal.sin_port      = htons(PORT);

// On demande l'attachement local de la socket
if((bind(socketEcoute, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreLocal, longueurAdresse)) < 0)
{
   perror("bind");
   exit(-2);
}

printf("Socket attachée avec succès !\n");

// On fixe la taille de la file d'attente à 5 (pour les demandes de connexion non encore
    traitées)
if(listen(socketEcoute, 5) < 0)
{
   perror("listen");
   exit(-3);
}

printf("Socket placée en écoute passive ...\n");

//--- Début de l'étape n°7 :
// boucle d'attente de connexion : en théorie, un serveur attend indéfiniment !
while(1)
{
   memset(messageEnvoi, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));
   memset(messageRecu, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));
   printf("Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)\n\n");
   // c'est un appel bloquant
   socketDialogue = accept(socketEcoute, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreDistant, &
       longueurAdresse);

   if (socketDialogue < 0)
   {
      perror("accept");
      close(socketDialogue);
      close(socketEcoute);
      exit(-4);
   }
```

```
      // On réception les données du client (cf. protocole)
      lus = read(socketDialogue, messageRecu, LG_MESSAGE*sizeof(char)); // ici appel
          bloquant
      switch(lus)
      {
         case -1 : /* une erreur ! */
            perror("read");
            close(socketDialogue);
            exit(-5);
         case 0 : /* la socket est fermée */
            fprintf(stderr, "La socket a été fermée par le client !\n\n");
            close(socketDialogue);
            return 0;
         default: /* réception de n octets */
            printf("Message reçu : %s (%d octets)\n\n", messageRecu, lus);
      }

      // On envoie des données vers le client (cf. protocole)
      sprintf(messageEnvoi, "ok\n");
      ecrits = write(socketDialogue, messageEnvoi, strlen(messageEnvoi));
      switch(ecrits)
      {
         case -1 : /* une erreur ! */
            perror("write");
            close(socketDialogue);
            exit(-6);
         case 0 : /* la socket est fermée */
            fprintf(stderr, "La socket a été fermée par le client !\n\n");
            close(socketDialogue);
            return 0;
         default: /* envoi de n octets */
            printf("Message %s envoyé (%d octets)\n\n", messageEnvoi, ecrits);
      }

      // On ferme la socket de dialogue et on se replace en attente ...
      close(socketDialogue);
   }
   //--- Fin de l'étape n°7 !

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(socketEcoute);

   return 0;
}
```

Étape n°7 : accepter les demandes connexions

Testons notre serveur avec notre client :

```
$ ./serveurTCP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Socket placée en écoute passive ...
Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)
```

```
Message reçu : Hello world !
 (14 octets)

Message ok
 envoyé (3 octets)

Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)

Message reçu : Hello world !
 (14 octets)

Message ok
 envoyé (3 octets)

Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)

^C
```

On va exécuter deux clients à la suite :

```
$ ./clientTCP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

Message reçu du serveur : ok
 (3 octets)

$ ./clientTCP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

Message reçu du serveur : ok
 (3 octets)
```

Il est évidemment possible de tester notre serveur avec des clients TCP existants comme `telnet` ou `netcat`.

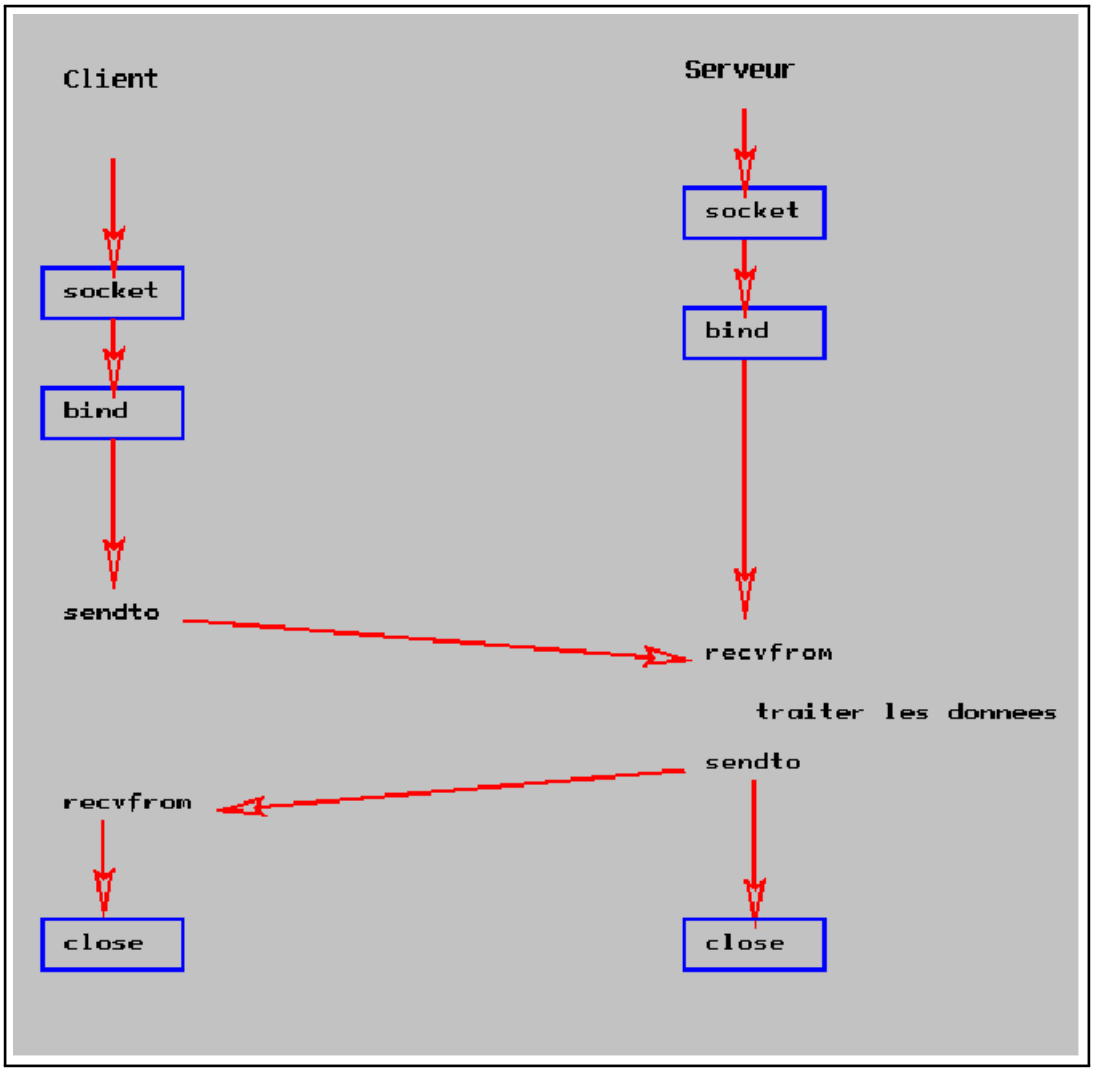
Programmation UDP (Linux)

Objectifs

L'objectif de cette partie est la mise en oeuvre d'une communication client/serveur en utilisant une **socket UDP** sous Unix/Linux.

Diagramme d'échanges

L'échange entre un client et un serveur UDP peut être schématisé de la manière suivante :



Les appels systèmes utilisés dans un échange UDP

Étape n°1 : création de la socket (côté client)

Pour créer une socket, on utilisera l'appel système `socket()`. On commence par consulter la page du manuel associée à cet appel :

```
$ man 2 socket
```



```
SOCKET(2)                    Manuel du programmeur Linux                    SOCKET(2)

NOM
       socket - Créer un point de communication

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int socket(int domain, int type, int protocol);

DESCRIPTION
       socket() crée un point de communication, et renvoie un descripteur.
       ...

VALEUR RENVOYÉE
       Cet  appel  système renvoie un  descripteur référençant la socket créée s'il réussit.
       S'il échoue, il renvoie -1 et errno contient le code d'erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système socket

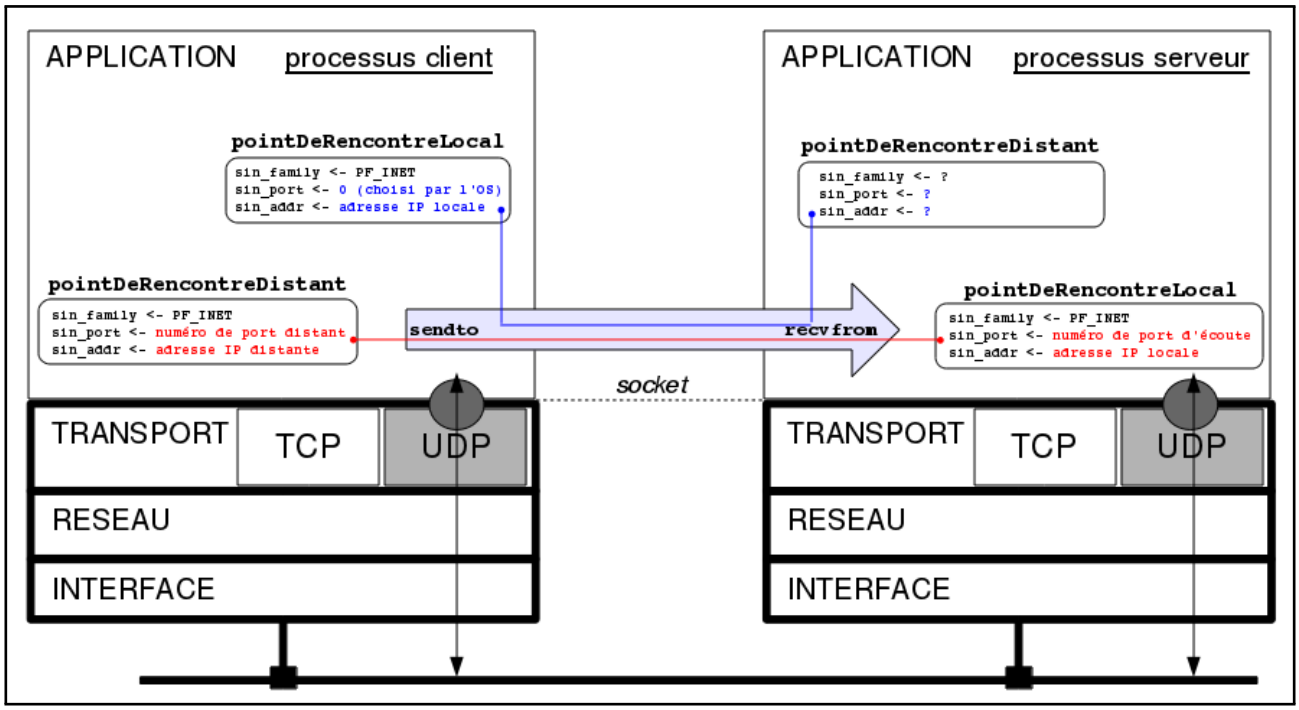
```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int main()
{
   int descripteurSocket;

   //<-- Début de l'étape n°1 !
   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
      protocole par défaut associé à SOCK_DGRAM soit UDP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(descripteurSocket < 0) /* échec ? */
   {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }

   //--> Fin de l'étape n°1 !
   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(descripteurSocket);

   return 0;
}
```

Étape n°1 : création de la socket (côté client)

Pour le paramètre `protocol`, on a utilisé la valeur 0 (voir commentaire). On aurait pu préciser le protocole UDP de la manière suivante : `IPPROTO_UDP`.

Étape n°2 : attachement local de la socket

Maintenant que nous avons créé une socket UDP, le client pourrait déjà communiquer avec un serveur UDP car nous utilisons un mode non-connecté.



Un échange en UDP

On va tout d'abord attacher cette socket à une interface et à un numéro de port local de sa machine en utilisant utiliser l'appel système `bind()`. Cela revient à créer un **point de rencontre local pour le client**. On consulte la page du manuel associée à cet appel :

```
$ man 2 bind

BIND(2)                    Manuel du programmeur Linux                    BIND(2)

NOM
       bind - Fournir un nom à une socket

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>       /* Voir NOTES */
       #include <sys/socket.h>

       int bind(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
                socklen_t addrlen);

DESCRIPTION
       Quand une  socket est créée avec l'appel système socket(2), elle existe dans l'espace
       des noms mais n'a pas de nom assigné). bind() affecte l'adresse spécifiée dans addr à
       la  socket référencée par le descripteur de fichier sockfd. addrlen indique la taille,
       en octets, de la structure d'adresse pointée par addr.  Traditionnellement cette
```

```
       opération est appelée « affectation d'un nom à une socket ».

       Les règles d'affectation de nom varient suivant le domaine de communication.
       ...

VALEUR RENVOYÉE
       L'appel renvoie 0  s'il réussit, ou -1 s'il échoue, auquel cas errno contient le code
       d'erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système bind

On rappelle que l'adressage d'un processus (local ou distant) dépend du **domaine** de communication (cad la famille de protocole employée). Ici, nous avons choisi le domaine `PF_INET` pour les protocoles Internet IPv4.

Dans cette famille, un processus sera identifié par :
- une adresse IPv4
- un numéro de port

Rappel : l'interface socket propose une structure d'adresse générique ***`sockaddr`*** *et le domaine* ***`PF_INET`*** *utilise une structure compatible* ***`sockaddr_in`***.

Il suffit donc d'initialiser une structure `sockaddr_in` avec les informations **locales du client** (adresse IPv4 et numéro de port).

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
- `htonl()` pour convertir une adresse IP (sur 32 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau
- `htons()` pour convertir le numéro de port (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

Normalement, il faudrait indiquer un numéro de port utilisé par le client pour cette socket. Cela peut s'avérer délicat si on ne connaît pas les numéros de port libres. Le plus simple est de laisser le système d'exploitation choisir en indiquant la valeur 0 dans le champ `sin_port`.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons et htonl */

int main()
{
   int descripteurSocket;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal;
   socklen_t longueurAdresse;

   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0);

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
```

```
   if(descripteurSocket < 0) {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }
   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

   //<-- Début de l'étape n°2 !
   // On prépare l'adresse d'attachement locale
   longueurAdresse = sizeof(struct sockaddr_in);
   memset(&pointDeRencontreLocal, 0x00, longueurAdresse);
   pointDeRencontreLocal.sin_family = PF_INET;
   pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // n'importe quelle interface
       locale disponible
   pointDeRencontreLocal.sin_port = htons(0); // l'os choisira un numéro de port libre

   // On demande l'attachement local de la socket
   if((bind(descripteurSocket, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreLocal, longueurAdresse))
       < 0) {
      perror("bind");
      exit(-2);
   }
   //--> Fin de l'étape n°2 !
   printf("Socket attachée avec succès !\n");

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(descripteurSocket);
   return 0;
}
```

Étape n°2 : attachement local de la socket

Le test est concluant :

```
$ ./clientUDP-2
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
```

Étape n°3 : communication avec le serveur

Il nous faut donc des fonctions pour écrire (envoyer) et lire (recevoir) des octets dans la socket.

Normalement les octets envoyés ou reçus respectent un protocole de couche APPLICATION. Ici, pour les tests, notre couche APPLICATION sera vide ! C'est-à-dire que les données envoyées et reçues ne respecteront aucun protocole et ce seront de simples caractères ASCII.

Les fonctions d'échanges de données sur une socket UDP sont `recvfrom()` et `sendto()` qui permettent la réception et l'envoi d'octets sur un descripteur de socket en mode non-connecté.

Les appels `recvfrom()` et `sendto()` sont spécifiques aux sockets en mode non-connecté. Ils utiliseront en argument une structure `sockaddr_in` pour `PF_INET`.

Ici, on limitera notre client à l'envoi d'une chaîne de caractères. Pour cela, on va utiliser l'appel `sendto()` :

```
$ man 2 sendto

SEND(2)                        Manuel du programmeur Linux                        SEND(2)

NOM
       sendto - Envoyer un message sur une socket

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>
       #include <sys/socket.h>

       ssize_t sendto(int s, const void *buf, size_t len, int flags,
                      const struct sockaddr *to, socklen_t tolen);

DESCRIPTION
       L'appel système sendto() permet de transmettre un message
       à destination d'une autre socket.

       Le paramètre s est le descripteur de fichier de la socket émettrice. L'adresse de la
           cible est fournie par to, tolen spécifiant sa taille. Le message se trouve dans
           buf et a pour longueur len.
       ...

VALEUR RENVOYÉE
       S'ils réussissent, ces appels système renvoient le nombre de caractères émis. S'ils
       échouent, ils renvoient -1 et errno contient le code d'erreur.
...
```

Extrait de la page man de l'appel système sendto

On rappelle que l'adressage du processus distant dépend du **domaine** de communication (cad la famille de protocole employée). Ici, nous avons choisi le domaine `PF_INET` pour les protocoles Internet IPv4.

Dans cette famille, un processus sera identifié par :
- une adresse IPv4
- un numéro de port

Et il suffira donc d'initialiser une structure `sockaddr_in` avec les informations distantes du serveur (adresse IPv4 et numéro de port). Cela revient à adresser le **point de rencontre distant** qui sera utilisé dans l'appel `sendto()` par le client.

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
- `inet_aton()` pour convertir une adresse IP depuis la notation IPv4 décimale pointée vers une forme binaire (dans l'ordre d'octet du réseau)
- `htons()` pour convertir le numéro de port (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

L'ordre des octets du réseau est en fait *big-endian*. Il est donc plus prudent d'appeler des fonctions qui respectent cet ordre pour coder des informations dans les en-têtes des protocoles réseaux.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
```

```c
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons, htonl et inet_aton */

#define LG_MESSAGE 256

int main()
{
   int descripteurSocket;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant;
   socklen_t longueurAdresse;
   char messageEnvoi[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
   int ecrits; /* nb d'octets ecrits */
   int retour;

   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
       protocole par défaut associé à SOCK_DGRAM soit UDP */

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(descripteurSocket < 0) /* échec ? */
   {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
      exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
   }
   printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

   // On prépare l'adresse d'attachement locale
   longueurAdresse = sizeof(struct sockaddr_in);
   memset(&pointDeRencontreLocal, 0x00, longueurAdresse);
   pointDeRencontreLocal.sin_family    = PF_INET;
   pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // n'importe quelle interface
       locale disponible
   pointDeRencontreLocal.sin_port      = htons(0); // l'os choisira un numéro de port libre

   // On demande l'attachement local de la socket
   if((bind(descripteurSocket, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreLocal, longueurAdresse))
       < 0)
   {
      perror("bind");
      exit(-2);
   }
   printf("Socket attachée avec succès !\n");

   //<-- Début de l'étape n°3
   // Obtient la longueur en octets de la structure sockaddr_in
   longueurAdresse = sizeof(pointDeRencontreDistant);
   // Initialise à 0 la structure sockaddr_in
   memset(&pointDeRencontreDistant, 0x00, longueurAdresse);
   // Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations du serveur distant
   pointDeRencontreDistant.sin_family = PF_INET;
   // On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
```

```
   pointDeRencontreDistant.sin_port = htons(IPPORT_USERRESERVED); // = 5000
   // On choisit l'adresse IPv4 du serveur
   inet_aton("192.168.52.2", &pointDeRencontreDistant.sin_addr); // à modifier selon ses
       besoins

   // Initialise à 0 le message
   memset(messageEnvoi, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));

   // Envoie un message au serveur
   sprintf(messageEnvoi, "Hello world !\n");
   ecrits = sendto(descripteurSocket, messageEnvoi, strlen(messageEnvoi), 0, (struct
       sockaddr *)&pointDeRencontreDistant, longueurAdresse);
   switch(ecrits)
   {
      case -1 : /* une erreur ! */
         perror("sendto");
         close(descripteurSocket);
         exit(-3);
      case 0 :
         fprintf(stderr, "Aucune donnée n'a été envoyée !\n\n");
         close(descripteurSocket);
         return 0;
      default: /* envoi de n octets */
         if(ecrits != strlen(messageEnvoi))
            fprintf(stderr, "Erreur dans l'envoie des données !\n\n");
         else
            printf("Message %s envoyé avec succès (%d octets)\n\n", messageEnvoi, ecrits);
   }
   //--> Fin de l'étape n°3 !

   // On ferme la ressource avant de quitter
   close(descripteurSocket);

   return 0;
}
```

Étape n°3 : communication avec le serveur

Si vous testez ce client (sans serveur), vous risquez d'obtenir :

```
$ ./clientUDP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)
```

Le message a été envoyé au serveur : ceci peut s'expliquer tout simplement parce que nous sommes en mode non-connecté.

Le protocole UDP ne prend pas en charge un mode fiable : ici, le client a envoyé des données sans savoir si un serveur était prêt à les recevoir !

Étape n°4 : vérification du bon fonctionnement de l'échange

Pour tester notre client, il nous faut quand même un serveur ! Pour cela, on va utiliser l'outil réseau `netcat` en mode serveur (`-l`) UDP (`-u`) sur le port 5000 (`-p 5000`).

```
$ nc -u -l -p 5000
```

Puis :

```
$ ./clientUDP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)
```

Dans l'architecture client/serveur, on rappelle que c'est le client qui a l'initiative de l'échange. Il faut donc que le serveur soit en attente avant que le client envoie ses données.

Le message a bien été reçu et affiché par le serveur `netcat` :

```
$ nc -u -l -p 5000
Hello world !
```

Étape n°5 : réalisation d'un serveur UDP

Le code source d'un serveur UDP basique est très similaire à celui d'un client UDP. Évidemment, un serveur `UDP` a lui aussi besoin de créer une socket `SOCK_DGRAM` dans le domaine `PF_INET`. Puis, il doit utiliser l'appel système `bind()` pour lier sa socket d'écoute à une interface et à un numéro de port local à sa machine car le processus client doit connaître et fournir au moment de l'échange ces informations.

Il suffit donc d'initialiser une structure `sockaddr_in` avec les informations **locales du serveur** (adresse IPv4 et numéro de port).

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
- `htonl()` pour convertir une adresse IP (sur 32 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau
- `htons()` pour convertir le numéro de port (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

Il est ici possible de préciser avec `INADDR_ANY` que toutes les interfaces locales du serveur accepteront les échanges des clients.

Dans notre exemple, le serveur va seulement réceptionner un datagramme en provenance du client. Pour cela, il va utiliser l'appel système `recvfrom()` :

```
$ man 2 recvfrom

RECV(2)                          Manuel du programmeur Linux                          RECV(2)

NOM
       recvfrom - Recevoir un message sur une socket

SYNOPSIS
```

```
       #include <sys/types.h>
       #include <sys/socket.h>

       ssize_t recvfrom(int s, void *buf, size_t len, int flags,
                        struct sockaddr *from, socklen_t *fromlen);

DESCRIPTION
       L'appel système recvfrom() est utilisé pour recevoir des messages.

       Si from n'est pas NULL, et si le protocole sous-jacent fournit l'adresse de la source,

       celle-ci y est insérée. L'argument fromlen est un paramètre résultat, initialisé à la
       taille du tampon from, et modifié en retour pour indiquer la taille réelle de l'
          adresse enregistrée.
...
VALEUR RENVOYÉE
       Ces fonctions renvoient le nombre d'octets reçus si elles réussissent, ou -1 si elles
       échouent. La valeur de retour sera 0 si le pair a effectué un arrêt normal.
```

Extrait de la page man de l'appel système recvfrom

C'est l'appel `recvfrom()` qui remplit la structure `sockaddr_in` avec les informations du point de communication du client (adresse IPv4 et numéro de port pour `PF_INET`).

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h> /* pour exit */
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <string.h> /* pour memset */
#include <netinet/in.h> /* pour struct sockaddr_in */
#include <arpa/inet.h> /* pour htons, htonl et inet_aton */

#define PORT IPPORT_USERRESERVED // = 5000

#define LG_MESSAGE 256

int main()
{
   int descripteurSocket;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal;
   struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant;
   socklen_t longueurAdresse;
   char messageRecu[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
   int lus; /* nb d'octets lus */
   int retour;

   // Crée un socket de communication
   descripteurSocket = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0);

   // Teste la valeur renvoyée par l'appel système socket()
   if(descripteurSocket < 0) /* échec ? */
   {
      perror("socket"); // Affiche le message d'erreur
```

```
   exit(-1); // On sort en indiquant un code erreur
}
printf("Socket créée avec succès ! (%d)\n", descripteurSocket);

// On prépare l'adresse d'attachement locale
longueurAdresse = sizeof(struct sockaddr_in);
memset(&pointDeRencontreLocal, 0x00, longueurAdresse);
pointDeRencontreLocal.sin_family    = PF_INET;
pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // n'importe quelle interface
    locale disponible
pointDeRencontreLocal.sin_port      = htons(PORT); // <- 5000

// On demande l'attachement local de la socket
if((bind(descripteurSocket, (struct sockaddr *)&pointDeRencontreLocal, longueurAdresse))
    < 0)
{
   perror("bind");
   exit(-2);
}
printf("Socket attachée avec succès !\n");

//<-- Début de l'étape n°4
// Obtient la longueur en octets de la structure sockaddr_in
longueurAdresse = sizeof(pointDeRencontreDistant);
// Initialise à 0 la structure sockaddr_in (c'est l'appel recvfrom qui remplira cette
    structure)
memset(&pointDeRencontreDistant, 0x00, longueurAdresse);

// Initialise à 0 le message
memset(messageRecu, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));

// Réceptionne un message du client
lus = recvfrom(descripteurSocket, messageRecu, sizeof(messageRecu), 0, (struct sockaddr
    *)&pointDeRencontreDistant, &longueurAdresse);
switch(lus)
{
   case -1 : /* une erreur ! */
      perror("recvfrom");
      close(descripteurSocket);
      exit(-3);
   case 0 :
      fprintf(stderr, "Aucune donnée n'a été reçue !\n\n");
      close(descripteurSocket);
      return 0;
   default: /* réception de n octets */
         printf("Message %s reçu avec succès (%d octets)\n\n", messageRecu, lus);
}
//--> Fin de l'étape n°4 !

// On ferme la ressource avant de quitter
close(descripteurSocket);

return 0;
```



```
}
```

Étape n°5 : réalisation d'un serveur UDP

Une simple exécution du serveur le place en attente d'une réception de données :

```
$ ./serveurUDP
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
^C
```

Attention, tout de même de bien comprendre qu'un numéro de port identifie un processus communiquant ! Exécutons deux fois le même serveur et on obtient alors :

```
$ ./serveurUDP & ./serveurUDP
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Socket créée avec succès ! (3)
bind: Address already in use
```

Explication : l'attachement local au numéro de port 5000 du deuxième processus échoue car ce numéro de port est déjà attribué par le système d'exploitation au premier processus serveur. TCP et UDP ne partagent pas le même espace d'adressage (numéro de port logique indépendant).

Testons notre serveur avec notre client :

```
$ ./serveurUDP
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Message Hello world !
 reçu avec succès (14 octets)

$ ./clientUDP-3
Socket créée avec succès ! (3)
Socket attachée avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)
```

Il est évidemment possible de tester notre serveur avec le client UDP de `netcat` avec l'option `-u`.

Programmation Socket TCP (Windows)

Objectifs

L'objectif de cette partie est la mise en oeuvre d'une communication client/serveur en utilisant une socket TCP sous Windows.

Winsock (*WINdows SOCKet*) est une bibliothèque logicielle pour Windows dont le but est d'implémenter une interface de programmation inspirée des sockets BSD. Son développement date de 1991 (Microsoft n'a pas implémenté Winsock 1.0.). Il y a peu de différences avec les sockets BSD, mais Winsock fournit des fonctions additionnelles pour être conforme au modèle de programmation Windows, par exemple les fonctions `WSAGetLastError()`, `WSAStartup()` et `WSACleanup()`.

Vous aurez besoin d'outils de compilation et fabrication de programmes sous Windows. `MinGW` (*Minimalist GNU for Windows*) est une adaptation des logiciels de développement et de compilation du GNU (`GCC` : *GNU Compiler Collection*) à la plate-forme Windows (Win32). Vous pouvez l'installer indépendamment ou intégrer à un EDI comme `Dev-Cpp` ou `Code::Blocks`.

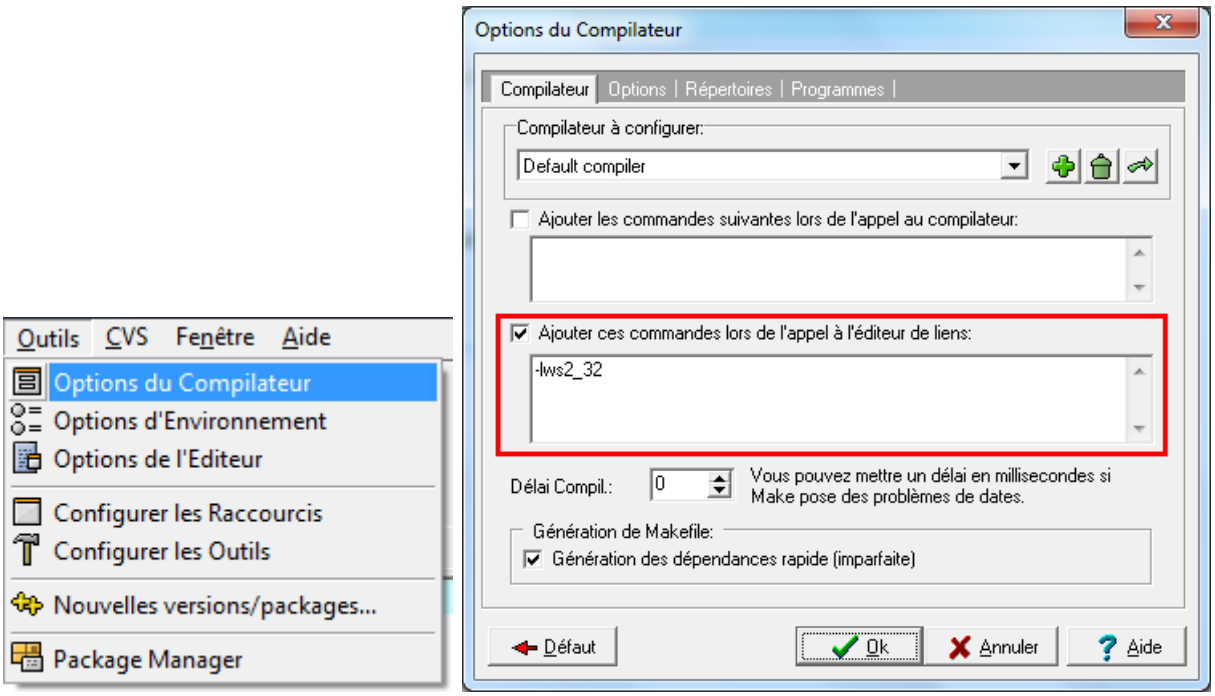
Étape n°0 : préparation

Sous Windows, il faut tout d'abord initialiser avec `WSAStartup()` l'utilisation de la DLL Winsock par le processus. De la même manière, il faudra terminer son utilisation proprement avec `WSACleanup()`.

```c
#include <winsock2.h>

// pour Visual Studio sinon ajouter -lws2_32
#pragma comment(lib, "ws2_32.lib")

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0

    /* ... */

    WSACleanup(); // termine l'utilisation

    return 0;
}
```

Étape n°0 : préparation

Dans cet exemple, on utilise la version 2 de Winsock (`winsock2.h` et `ws2_32.lib`). Vous pouvez aussi utiliser la version 1 (`winsock.h` et `wsock32.lib`). Avec les compilateurs type GCC, il faudra ajouter `-lws2_32` à l'édition des liens.



Exemple : Lien vers la bibliothèque `ws2_32.lib` dans Dev-Cpp

Étape n°1 : création de la socket (côté client)

Pour créer une socket, on utilisera l'appel `socket()`. On commence par consulter la documentation associée à cet appel : http ://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms740506(v=vs.85).aspx.

```
The socket function creates a socket that is bound to a specific transport service provider.

SOCKET WSAAPI socket(
  _In_  int af,
  _In_  int type,
  _In_  int protocol
);

...
```

Extrait de la documentation de l'appel socket

```c
#include <winsock2.h>
#include <ws2tcpip.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0

    //--- Début de l'étape n°1 :
    SOCKET descripteurSocket;
    int iResult;

    // Crée un socket de communication
```

```
    descripteurSocket = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
        protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

    if (descripteurSocket == INVALID_SOCKET)
    {
        printf("Erreur creation socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    //--Fin de l'étape n°1 !
    printf("Socket créée avec succès !\n");

    // On ferme la ressource avant de quitter

    iResult = closesocket(descripteurSocket);
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
        printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    WSACleanup(); // termine l'utilisation

    return 0;
}
```

Étape n°1 : création de la socket (côté client)

Pour le paramètre `protocol`, on a utilisé la valeur 0 (voir commentaire). On aurait pu préciser le protocole TCP de la manière suivante : `IPPROTO_TCP`.

Étape n°2 : connexion au serveur

Maintenant que nous avons créé une socket TCP, il faut la connecter au processus serveur distant.

Pour cela, on va utiliser l'appel système `connect()`. On commence par consulter la documentation associée à cet appel : http ://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms737625(v=vs.85).aspx.

`The connect function establishes a connection to a specified socket.`

```
int connect(
  _In_  SOCKET s,
  _In_  const struct sockaddr *name,
  _In_  int namelen
);

...
```

Extrait de la page de documentation de l'appel connect

On rappelle que l'adressage du processus distant dépend du **domaine** de communication (cad la famille de protocole employée). Ici, nous avons choisi le domaine `AF_INET` pour les protocoles Internet IPv4.

Dans cette famille, un processus sera identifié par :
– une adresse IPv4
– un numéro de port

L'interface socket propose une structure d'adresse générique :

```
struct sockaddr {
        ushort sa_family;
        char   sa_data[14];
};

typedef struct sockaddr SOCKADDR;
```

La structure générique ***sockaddr***

Et le domaine `AF_INET` utilise une structure compatible :

```
struct in_addr { unsigned int s_addr; }; // une adresse Ipv4 (32 bits)

struct sockaddr_in {
        short  sin_family;
        u_short sin_port;
        struct in_addr sin_addr;
        char   sin_zero[8];
};

typedef struct sockaddr_in SOCKADDR_IN;
```

La structure compatible ***sockaddr_in*** *pour* ***AF_INET***

Il suffit donc d'initialiser une structure `sockaddr_in` avec les informations distantes du serveur (adresse IPv4 et numéro de port).

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
– `inet_addr()` pour convertir une **adresse IP** depuis la notation IPv4 décimale pointée vers une forme binaire (dans l'ordre d'octet du réseau)
– `htons()` pour convertir le **numéro de port** (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

L'ordre des octets du réseau est en fait *big-endian*. Il est donc plus prudent d'appeler des fonctions qui respectent cet ordre pour coder des informations dans les en-têtes des protocoles réseaux.

```
#include <winsock2.h>
#include <ws2tcpip.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define PORT 5000

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0
```

```
SOCKET descripteurSocket;
int iResult;

// Crée un socket de communication
descripteurSocket = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
    protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

if (descripteurSocket == INVALID_SOCKET)
{
    printf("Erreur creation socket : %d\n", WSAGetLastError());
    WSACleanup();
    return 1;
}

//--- Début de l'étape n°2 :
struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant; // ou SOCKADDR_IN pointDeRencontreDistant;

// Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations du serveur distant
pointDeRencontreDistant.sin_family = AF_INET;
// On choisit l'adresse IPv4 du serveur
pointDeRencontreDistant.sin_addr.s_addr = inet_addr("192.168.52.2"); // à modifier selon
     ses besoins
// On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
pointDeRencontreDistant.sin_port = htons(PORT); // = 5000

// Débute la connexion vers le processus serveur distant
iResult = connect(descripteurSocket, (SOCKADDR *)&pointDeRencontreDistant, sizeof(
    pointDeRencontreDistant));
if (iResult == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Erreur connexion socket : %d\n", WSAGetLastError());
    iResult = closesocket(descripteurSocket); // On ferme la ressource avant de quitter
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
      printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
    }
    WSACleanup();
    return 1; // On sort en indiquant un code erreur
}

//--- Fin de l'étape n°2 !
printf("Connexion au serveur réussie avec succès !\n");

// On ferme la ressource avant de quitter
iResult = closesocket(descripteurSocket);
if (iResult == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
    WSACleanup();
    return 1;
}

WSACleanup(); // termine l'utilisation
```

```
    return 0;
}
```

Étape n°2 : connexion au serveur

Si vous testez ce client, vous risquez d'obtenir :

```
Erreur connexion socket : 10061
```

Ceci peut s'expliquer tout simplement parce qu'il n'y a pas de processus serveur à cette adresse !

La fonction `WSAGetLastError()` retourne seulement un code d'erreur. L'ensemble des code d'erreurs sont déclarés dans le fichier d'en-tête `winsock2.h`. Par exemple ici, le code d'erreur 10061 correspond à l'étiquette `WSAECONNREFUSED` (connexion refusée). Pour obtenir le message associé à un code d'erreur, il faut utiliser la fonction `FormatMessageW()`.

```
wchar_t *s = NULL;
FormatMessageW(FORMAT_MESSAGE_ALLOCATE_BUFFER | FORMAT_MESSAGE_FROM_SYSTEM |
    FORMAT_MESSAGE_IGNORE_INSERTS, NULL, WSAGetLastError(), MAKELANGID(LANG_NEUTRAL,
    SUBLANG_DEFAULT), (LPWSTR)&s, 0, NULL);
fprintf(stderr, "%S\n", s);
LocalFree(s);
```

Affichage du message associé à un code d'erreur

Étape n°3 : vérification du bon fonctionnement de la connexion

Pour tester notre client, il nous faut un serveur ! Pour cela, on va utiliser l'outil réseau `netcat` en mode serveur (`-l`) sur le port 5000 (`-p 5000`) :

```
nc -l -p 5000
```

Puis en exécutant `clientTCPWin-2.exe`, on obtient :

```
Connexion au serveur réussie avec succès !
```

Dans l'architecture client/serveur, on rappelle que c'est le client qui a l'initiative de l'échange. Il faut donc que le serveur soit en écoute avant que le client fasse sa demande.

Étape n°4 : échange des données

On rappelle qu'une communication TCP est bidirectionnelle *full duplex* et orientée flux d'octets. Il nous faut donc des fonctions pour écrire (envoyer) et lire (recevoir) des octets dans la socket.

Normalement les octets envoyés ou reçus respectent un protocole de couche APPLICATION. Ici, pour les tests, notre couche APPLICATION sera vide ! C'est-à-dire que les données envoyées et reçues ne respecteront aucun protocole et ce seront de simples caractères ASCII.

Les fonctions d'échanges de données sur une socket TCP sont :

– `recv()` et `send()` qui permettent la réception et l'envoi d'octets sur un descripteur de socket avec un paramètre `flags`

Les appels `recv()` et `send()` sont spécifiques aux sockets en mode connecté (TCP).

Faire communiquer deux processus sans aucun protocole de couche APPLICATION est tout de même difficile ! On va simplement fixer les règles d'échange suivantes :

– le client envoie en premier une chaîne de caractères
– et le serveur lui répondra "ok"

```c
#include <winsock2.h>
#include <ws2tcpip.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define PORT 5000
#define LG_MESSAGE 256

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0

    SOCKET descripteurSocket;
    int iResult;

    // Crée un socket de communication
    descripteurSocket = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
        protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

    if (descripteurSocket == INVALID_SOCKET)
    {
        printf("Erreur creation socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant; // ou SOCKADDR_IN pointDeRencontreDistant;

    // Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations du serveur distant
    pointDeRencontreDistant.sin_family = AF_INET;
    // On choisit l'adresse IPv4 du serveur
    pointDeRencontreDistant.sin_addr.s_addr = inet_addr("192.168.52.2"); // à modifier selon
         ses besoins
    // On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
    pointDeRencontreDistant.sin_port = htons(PORT); // = 5000

    // Débute la connexion vers le processus serveur distant
    iResult = connect(descripteurSocket, (SOCKADDR *)&pointDeRencontreDistant, sizeof(
        pointDeRencontreDistant));
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
```



```
{
    printf("Erreur connexion socket : %d\n", WSAGetLastError());
    iResult = closesocket(descripteurSocket); // On ferme la ressource avant de quitter
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
      printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
    }
    WSACleanup();
    return 1; // On sort en indiquant un code erreur
}

printf("Connexion au serveur réussie avec succès !\n");

//--- Début de l'étape n°4 :
char messageEnvoi[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
char messageRecu[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
int ecrits, lus; /* nb d'octets ecrits et lus */

sprintf(messageEnvoi, "Hello world !\n");
ecrits = send(descripteurSocket, messageEnvoi, (int)strlen(messageEnvoi), 0); // message
    à TAILLE variable
if (ecrits == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Erreur envoi socket : %d\n", WSAGetLastError());
    closesocket(ConnectSocket);
    WSACleanup();
    return 1;
}

printf("Message %s envoyé avec succès (%d octets)\n\n", messageEnvoi, ecrits);

/* Reception des données du serveur */
lus = recv(ConnectSocket, messageRecu, sizeof(messageRecu), 0); /* attend un message de
   TAILLE fixe */
if( lus > 0 ) /* réception de n octets */
    printf("Message reçu du serveur : %s (%d octets)\n\n", messageRecu, lus);
else if ( lus == 0 ) /* la socket est fermée par le serveur */
    printf("La socket a été fermée par le serveur !\n");
else /* une erreur ! */
    printf("Erreur lecture socket : %d\n", WSAGetLastError());
//--- Fin de l'étape n°4 !

// On ferme la ressource avant de quitter
iResult = closesocket(descripteurSocket);
if (iResult == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
    WSACleanup();
    return 1;
}

WSACleanup(); // termine l'utilisation
```



```
    return 0;
}
```

Étape n°4 : échange des données

On utilise la même procédure de test que précédemment en démarrant un serveur `netcat` sur le port 5000 :

```
nc -l -p 5000
```

Puis, on exécute notre client `clientTCPWin-3.exe` :

```
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

Message reçu du serveur : ok
 (3 octets)
```

Dans la console où on a exécuté le serveur `netcat`, cela donne :

```
Hello world !
ok
```

Dans `netcat`, pour envoyer des données au client, il suffit de saisir son message et de valider par la touche Entrée.

Que se passe-t-il si le serveur s'arrête (en tapant Ctrl-C par exemple !) au lieu d'envoyer "ok" ?

```
Hello world !
^C
```

Dans la console du client `clientTCPWin-3.exe` :

```
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

La socket a été fermée par le serveur !
```

Notre client a bien détecté la fermeture de la socket côté serveur.

Dans les codes sources ci-dessus, nous avons utilisés l'appel `close()` pour fermer la socket et donc la communication. En TCP, la communication étant bidirectionnelle *full duplex*, il est possible de fermer plus finement l'échange en utilisant l'appel `shutdown()` :

```
The shutdown function disables sends or receives on a socket.

int shutdown(
  _In_ SOCKET s,
  _In_ int how
);

s [in] : A descriptor identifying a socket.
how [in] : A flag that describes what types of operation will no longer be allowed. Possible
     values for this flag are listed in the Winsock2.h header file.
```

```
SD_RECEIVE : Shutdown receive operations.
0

SD_SEND : Shutdown send operations.
1

SD_BOTH : Shutdown both send and receive operations.
2

...
```

Extrait de la documentation de l'appel shutdown

Étape n°5 : réalisation d'un serveur TCP

Évidemment, un serveur `TCP` a lui aussi besoin de créer une socket `SOCK_STREAM` dans le domaine `AF_INET`.

Mis à part cela, le code source d'un serveur TCP basique est très différent d'un client TCP dans le principe. On va détailler ces différences étape par étape.

On rappelle qu'un serveur TCP attend des demandes de connexion en provenance de processus client. Le processus client doit connaître au moment de la connexion le numéro de port d'écoute du serveur.

Pour mettre en oeuvre cela, le serveur va utiliser l'appel `bind()` qui va lui permettre de lier sa socket d'écoute à une interface et à un numéro de port local à sa machine.

```
The bind function associates a local address with a socket.

int bind(
  _In_  SOCKET s,
  _In_  const struct sockaddr *name,
  _In_  int namelen
);

...
```

Extrait de la documentation de l'appel bind

On rappelle que l'adressage d'un processus (local ou distant) dépend du **domaine** de communication (cad la famille de protocole employée). Ici, nous avons choisi le domaine `AF_INET` pour les protocoles Internet IPv4.

Dans cette famille, un processus sera identifié par :
- une adresse IPv4
- un numéro de port

Rappel : l'interface socket propose une structure d'adresse générique `sockaddr` *et le domaine* `AF_INET` *utilise une structure compatible* `sockaddr_in`*.*

Il suffit donc d'initialiser une structure `sockaddr_in` avec les informations **locales du serveur** (adresse IPv4 et numéro de port).

Pour écrire ces informations dans la structure d'adresse, il nous faudra utiliser :
- `htonl()` pour convertir une adresse IP (sur 32 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau

– `htons()` pour convertir le numéro de port (sur 16 bits) depuis l'ordre des octets de l'hôte vers celui du réseau.

Normalement il faudrait indiquer l'adresse IPv4 de l'interface locale du serveur qui acceptera les demandes de connexions. Il est ici possible de préciser avec `INADDR_ANY` que toutes les interfaces locales du serveur accepteront les demandes de connexion des clients.

```
#include <winsock2.h>
#include <ws2tcpip.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h> /* pour sleep */

#define PORT 5000

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0

    SOCKET socketEcoute;
    int iResult;

    //--- Début de l'étape n°5 :
    // Crée un socket de communication
    socketEcoute = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
        protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

    if (socketEcoute == INVALID_SOCKET)
    {
        printf("Erreur creation socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    // On prépare l'adresse d'attachement locale
    struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal; // ou SOCKADDR_IN pointDeRencontreLocal;

    // Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations locales du serveur
    pointDeRencontreLocal.sin_family = AF_INET;
    pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // toutes les interfaces
        locales disponibles
    // On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
    pointDeRencontreLocal.sin_port = htons(PORT); // = 5000

    iResult = bind(socketEcoute, (SOCKADDR *)&pointDeRencontreLocal, sizeof(
        pointDeRencontreLocal));
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
        printf("Erreur bind socket : %d\n", WSAGetLastError());
        closesocket(socketEcoute);
        WSACleanup();
```



```
        return 1;
    }

    //--- Fin de l'étape n°5 !
    printf("Socket attachée avec succès !\n");

    // On s'endort ... (cf. test)
    sleep(2);

    // On ferme la ressource avant de quitter
    iResult = closesocket(socketEcoute);
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
        printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    WSACleanup(); // termine l'utilisation

    return 0;
}
```

Étape n°5 : réalisation d'un serveur TCP

Le test est concluant :

```
Socket attachée avec succès !
```

Attention, tout de même de bien comprendre qu'un numéro de port identifie un processus communiquant ! Exécutons deux fois le même serveur et on obtient alors :

```
bind: Address already in use
```

Explication : l'attachement local au numéro de port 5000 du deuxième processus échoue car ce numéro de port est déjà attribué par le système d'exploitation au premier processus serveur.

Étape n°6 : mise en attente des connexions

Maintenant que le serveur a créé et attaché une socket d'écoute, il doit la placer en attente passive, c'est-à-dire capable d'accepter les demandes de connexion des processus clients.

Pour cela, on va utiliser l'appel `listen()` :

```
The listen function places a socket in a state in which it is listening for an incoming
    connection.

int listen(
  _In_ SOCKET s,
  _In_ int backlog
);


s [in] : A descriptor identifying a bound, unconnected socket.
```

```
backlog [in] : The maximum length of the queue of pending connections. If set to SOMAXCONN,
    the underlying service provider responsible for socket s will set the backlog to a
    maximum reasonable value. There is no standard provision to obtain the actual backlog
    value.
...
```

Extrait de la documentation de l'appel listen

Si la file est pleine, le serveur sera dans une situation de DOS (*Deny Of Service*) car il ne peut plus traiter les nouvelles demandes de connexion.

```c
#include <winsock2.h>
#include <ws2tcpip.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h> /* pour sleep */

#define PORT 5000

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0

    SOCKET socketEcoute;
    int iResult;

    // Crée un socket de communication
    socketEcoute = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
        protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

    if (socketEcoute == INVALID_SOCKET)
    {
        printf("Erreur creation socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    // On prépare l'adresse d'attachement locale
    struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal; // ou SOCKADDR_IN pointDeRencontreLocal;

    // Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations locales du serveur
    pointDeRencontreLocal.sin_family = AF_INET;
    pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // toutes les interfaces
        locales disponibles
    // On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
    pointDeRencontreLocal.sin_port = htons(PORT); // = 5000

    iResult = bind(socketEcoute, (SOCKADDR *)&pointDeRencontreLocal, sizeof(
        pointDeRencontreLocal));
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
```

```
        printf("Erreur bind socket : %d\n", WSAGetLastError());
        closesocket(socketEcoute);
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    printf("Socket attachée avec succès !\n");

    //--- Début de l'étape n°6 :
    // On fixe la taille de la file d'attente (pour les demandes de connexion non encore
        traitées)
    if (listen(socketEcoute, SOMAXCONN) == SOCKET_ERROR)
    {
        printf("Erreur listen socket : %d\n", WSAGetLastError());
    }

    //--- Fin de l'étape n°6 !
    printf("Socket placée en écoute passive ...\n");

    // On ferme la ressource avant de quitter
    iResult = closesocket(socketEcoute);
    if (iResult == SOCKET_ERROR)
    {
        printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }

    WSACleanup(); // termine l'utilisation

    return 0;
}
```

Étape n°6 : mise en attente des connexions

Étape n°7 : accepter les demandes connexions

Cette étape est cruciale pour le serveur. Il lui faut maintenant accepter les demandes de connexion en provenance des processus client.

Pour cela, il va utiliser l'appel `accept()` :

```
The accept function permits an incoming connection attempt on a socket.

SOCKET accept(
  _In_    SOCKET s,
  _Out_   struct sockaddr *addr,
  _Inout_ int *addrlen
);

s [in] : A descriptor that identifies a socket that has been placed in a listening state
    with the listen function. The connection is actually made with the socket that is
    returned by accept.
```



```
addr [out] : An optional pointer to a buffer that receives the address of the connecting
    entity, as known to the communications layer. The exact format of the addr parameter is
    determined by the address family that was established when the socket from the sockaddr
    structure was created.
addrlen [in, out] : An optional pointer to an integer that contains the length of structure
    pointed to by the addr parameter.

...
```

Extrait de la documentation de l'appel accept

Explication : imaginons qu'un client se connecte à notre socket d'écoute. L'appel `accept()` va retourner une nouvelle socket connectée au client qui servira de socket de dialogue. La socket d'écoute reste inchangée et peut donc servir à accepter des nouvelles connexions.

Le principe est simple mais un problème apparaît pour le serveur : comment dialoguer avec le client connecté et continuer à attendre des nouvelles connexions ? Il y a plusieurs solutions à ce problème notamment la programmation multi-tâche car ici le serveur a besoin de paralléliser plusieurs traitements.

On va pour l'instant ignorer ce problème et mettre en oeuvre un serveur basique : c'est-à-dire mono-client (ou plus exactement un client après l'autre) !

Concernant le dialogue, on utilisera les mêmes fonctions `recv()`/`send()`) que le client.

```c
#include <winsock2.h>
#include <ws2tcpip.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h> /* pour sleep */

#define PORT 5000
#define LG_MESSAGE 256

int main()
{
    WSADATA WSAData; // variable initialisée par WSAStartup

    WSAStartup(MAKEWORD(2,0), &WSAData); // indique la version utilisée, ici 2.0

    SOCKET socketEcoute;
    int iResult;

    // Crée un socket de communication
    socketEcoute = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* 0 indique que l'on utilisera le
        protocole par défaut associé à SOCK_STREAM soit TCP */

    if (socketEcoute == INVALID_SOCKET)
    {
        printf("Erreur creation socket : %d\n", WSAGetLastError());
        WSACleanup();
        return 1;
    }
```



```
// On prépare l'adresse d'attachement locale
struct sockaddr_in pointDeRencontreLocal; // ou SOCKADDR_IN pointDeRencontreLocal;

// Renseigne la structure sockaddr_in avec les informations locales du serveur
pointDeRencontreLocal.sin_family = AF_INET;
pointDeRencontreLocal.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // toutes les interfaces
    locales disponibles
// On choisit le numéro de port d'écoute du serveur
pointDeRencontreLocal.sin_port = htons(PORT); // = 5000

iResult = bind(socketEcoute, (SOCKADDR *)&pointDeRencontreLocal, sizeof(
    pointDeRencontreLocal));
if (iResult == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Erreur bind socket : %d\n", WSAGetLastError());
    closesocket(socketEcoute);
    WSACleanup();
    return 1;
}

printf("Socket attachée avec succès !\n");

// On fixe la taille de la file d'attente (pour les demandes de connexion non encore
    traitées)
if (listen(socketEcoute, SOMAXCONN) == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Erreur listen socket : %d\n", WSAGetLastError());
}

printf("Socket placée en écoute passive ...\n");

//--- Début de l'étape n°7 :
SOCKET socketDialogue;
struct sockaddr_in pointDeRencontreDistant;
int longueurAdresse = sizeof(pointDeRencontreDistant);
char messageEnvoi[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
char messageRecu[LG_MESSAGE]; /* le message de la couche Application ! */
int ecrits, lus; /* nb d'octets ecrits et lus */

// boucle d'attente de connexion : en théorie, un serveur attend indéfiniment !
while(1)
{
    memset(messageEnvoi, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));
    memset(messageRecu, 0x00, LG_MESSAGE*sizeof(char));
    printf("Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)\n\n");
    // c'est un appel bloquant
    socketDialogue = accept(socketEcoute, (SOCKADDR *)&pointDeRencontreDistant, &
        longueurAdresse);

    if (socketDialogue == INVALID_SOCKET)
    {
      printf("Erreur accept socket : %d\n", WSAGetLastError());
```



```
        closesocket(socketEcoute);
        WSACleanup();
        return 1;
      }

      // On réception les données du client (cf. protocole !)
      // ici appel bloquant
      lus = recv(socketDialogue, messageRecu, sizeof(messageRecu), 0); /* attend un
         message de TAILLE fixe */
      if( lus > 0 ) /* réception de n octets */
         printf("Message reçu du client : %s (%d octets)\n\n", messageRecu, lus);
      else if ( lus == 0 ) /* la socket est fermée par le serveur */
         printf("socket fermé\n");
      else /* une erreur ! */
         printf("Erreur lecture socket : %d\n", WSAGetLastError());

      // On envoie des données vers le client (cf. protocole !)
      sprintf(messageEnvoi, "ok\n");
      ecrits = send(socketDialogue, messageEnvoi, (int)strlen(messageEnvoi), 0); //
         message à TAILLE variable
      if (ecrits == SOCKET_ERROR)
      {
         printf("Erreur envoi socket : %d\n", WSAGetLastError());
         closesocket(socketDialogue);
         WSACleanup();
         return 1;
      }

      printf("Message %s envoyé (%d octets)\n\n", messageEnvoi, ecrits);

      // On ferme la socket de dialogue et on se replace en attente ...
      closesocket(socketDialogue);
   }

   //--- Fin de l'étape n°7 !
   // On ferme la ressource avant de quitter
   iResult = closesocket(socketEcoute);
   if (iResult == SOCKET_ERROR)
   {
      printf("Erreur fermeture socket : %d\n", WSAGetLastError());
      WSACleanup();
      return 1;
   }

   WSACleanup(); // termine l'utilisation

   return 0;
}
```

Étape n°7 : accepter les demandes connexions

Testons notre serveur `serveurTCPWin-3.exe` avec notre client :

```
Socket attachée avec succès !
Socket placée en écoute passive ...
```



```
Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)

Message reçu : Hello world !
 (14 octets)

Message ok
 envoyé (3 octets)

Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)

Message reçu : Hello world !
 (14 octets)

Message ok
 envoyé (3 octets)

Attente d'une demande de connexion (quitter avec Ctrl-C)

^C
```

On va exécuter deux clients à la suite :

```
Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

Message reçu du serveur : ok
 (3 octets)

Connexion au serveur réussie avec succès !
Message Hello world !
 envoyé avec succès (14 octets)

Message reçu du serveur : ok
 (3 octets)
```

Il est évidemment possible de tester notre serveur avec des clients TCP existants comme `telnet` ou `netcat`.

Questions de révision

L'idée de base des questions de révision est de vous donner une chance de voir si vous avez identifié et compris les points clés de ce TP.

Question 1. Qu'est-ce qu'une *socket* ?

Question 2. Quelles sont les trois caractéristiques d'une *socket* ?

Question 3. Quelles sont les deux informations qui définissent un point de communication en IPv4 ?

Question 4. Comment le serveur connaît-il le port utilisé par le client ?

Question 5. Comment le client connaît-il le port utilisé par le serveur ?

Question 6. À quelle couche du modèle DoD est reliée l'interface de programmation *socket* ?

Question 7. Quel protocole de niveau Transport permet d'établir une communication en mode connecté ?

Question 8. Quel protocole de niveau Transport permet d'établir une communication en mode non-connecté ?

Question 9. Quel est l'ordre des octets en réseau ?

Question 10. À quels protocoles correspond le domaine `PF_INET` ? Est-ce le seul utilisable avec l'interface socket ? En citer au moins un autre.

