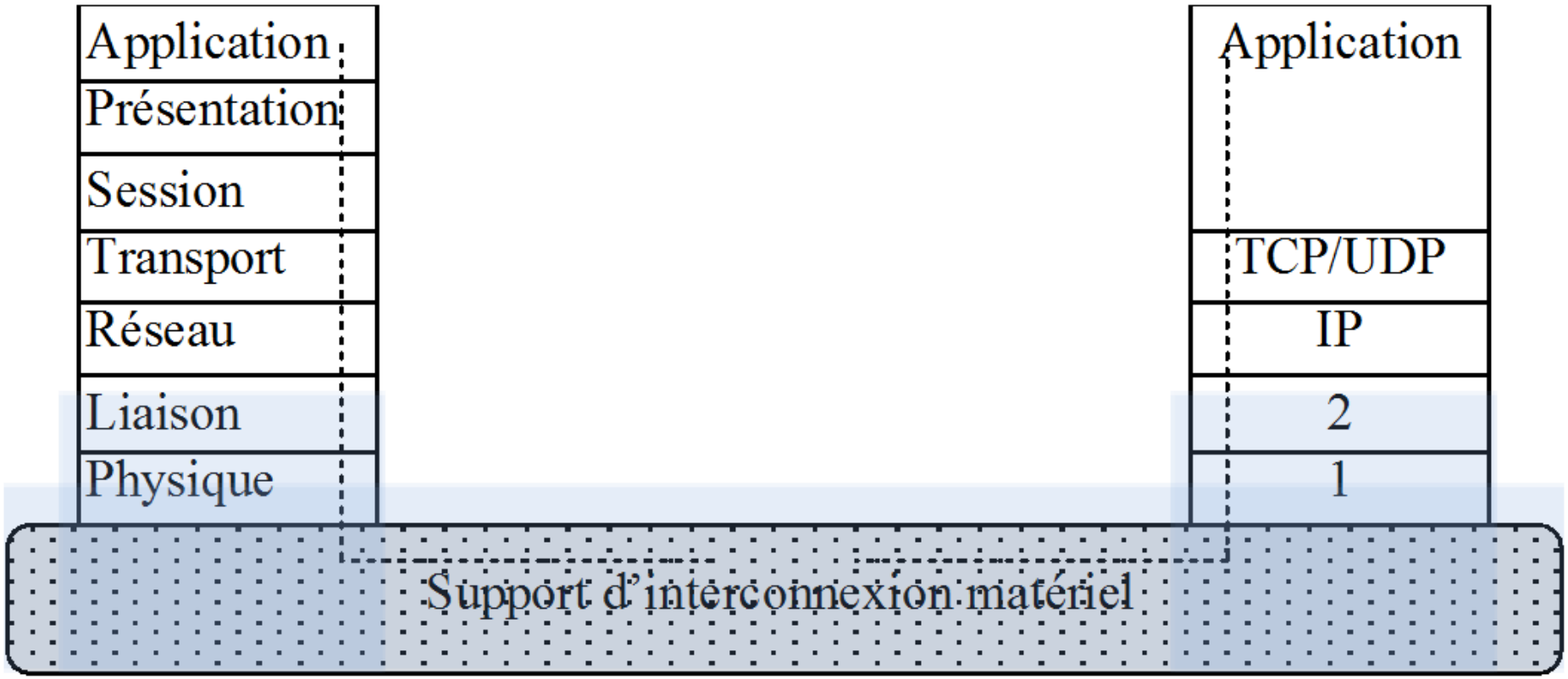
5. Transport + TCP&UDP

TCP/IP et OSI


Application
Présentation
Session
Transport
Réseau
Liaison
Physique
Application
TCP/UDP
IP
2
1
Support d'interconnexion matériel

Introduction

Inspiré du cours de Cyril Pain-Barre

http://projets-gmi.univ-avignon.fr/projets//proj1213/M2/p02/cours_2.pdf

Services et limitations d'IP

- Principaux services d'IP :
  - Interconnexion de réseaux hétérogènes
  - Remise de datagrammes à des hôtes (adresses IP)
  - Durée de vie limitée des datagrammes
  - Signalisation de certaines erreurs via ICMP
- Limitations d'IP :
  - Pas d'adressage des applications (client/serveur Web, cilent/serveur FTP, etc…)
  - Livraison des datagrammes non garantie
  - Duplication possible des datagrammes
  - Déséquencement possible des datagrammes
  - Erreurs possibles sur les données
  - Pas de contrôle de flux

Rôle du Transport

- Aller au-delà des limites d'IP
- Assurer, si possible, la correction d'erreurs :
  - signalées par ICMP
  - non signalées
- Deux protocoles de transport disponibles dans TCP/IP :
  - **UDP** : transport rapide, non connecté, permettant la multi-diffusion
  - **TCP** : transport fiable en mode connecté point à point

➔ distinguent les applications au sein d'un même hôte

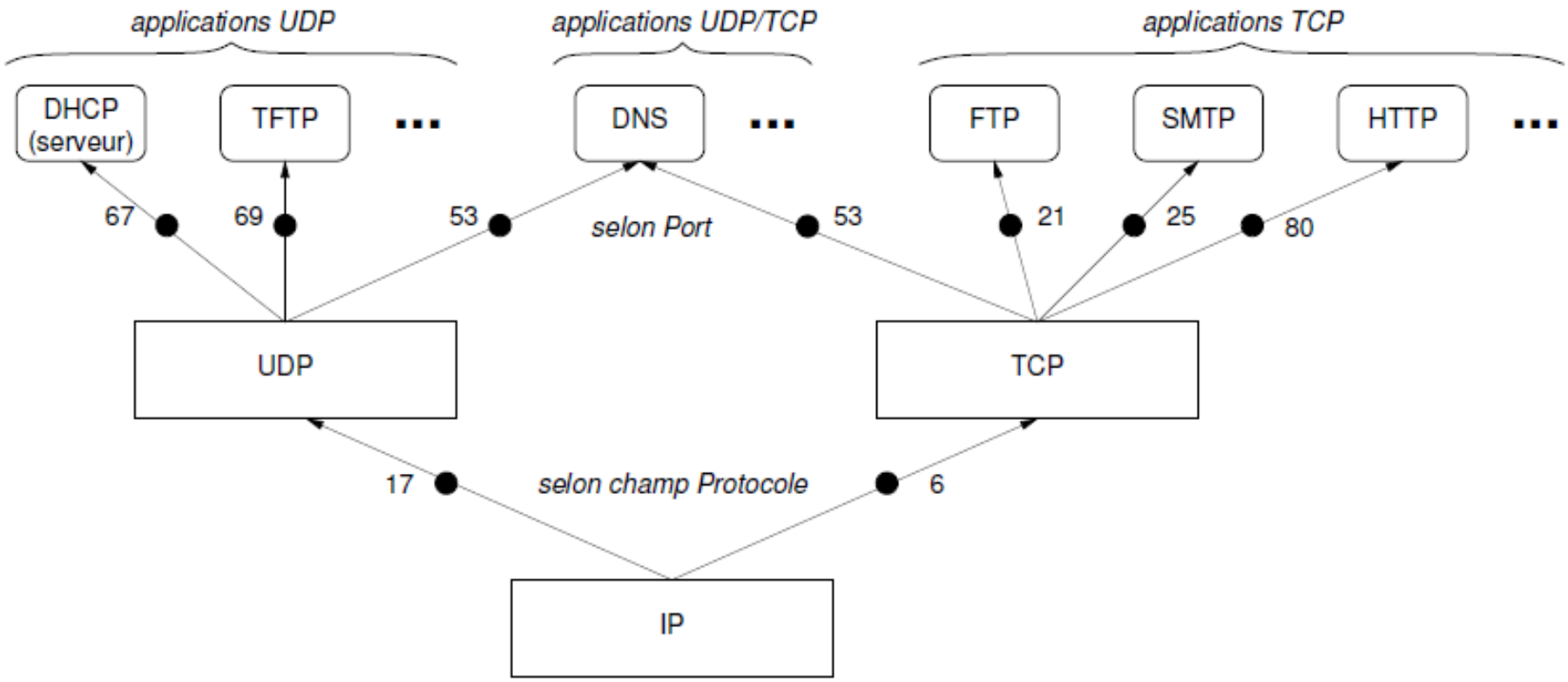
➔ garantissent l'indépendance des communications

Adressage des applications

- Plusieurs applications réseaux peuvent s'exécuter en parallèle sur un ordinateur !
- **Problème** : comment un émetteur peut-il préciser à quelle application est adressé un message ?
- **La solution** retenue sur Internet est l'utilisation de destinations abstraites : les **ports**
  - entiers positifs sur 16 bits
  - UDP et TCP fournissent chacun un ensemble de ports indépendants : le port *n* de UDP est indépendant du port *n* de TCP
  - certains numéros de port sont réservés et correspondent à des services particuliers

L'adresse d'une application Internet est le triplet : (adresse IP, protocole de transport, numéro de port)

Démultiplexage des ports



Le protocole UDP

User Datagram Protocol

(RFC 768)

Le protocole UDP

1. Présentation
2. Format des datagrammes UDP
3. Les numéros de port
4. Détection des erreurs

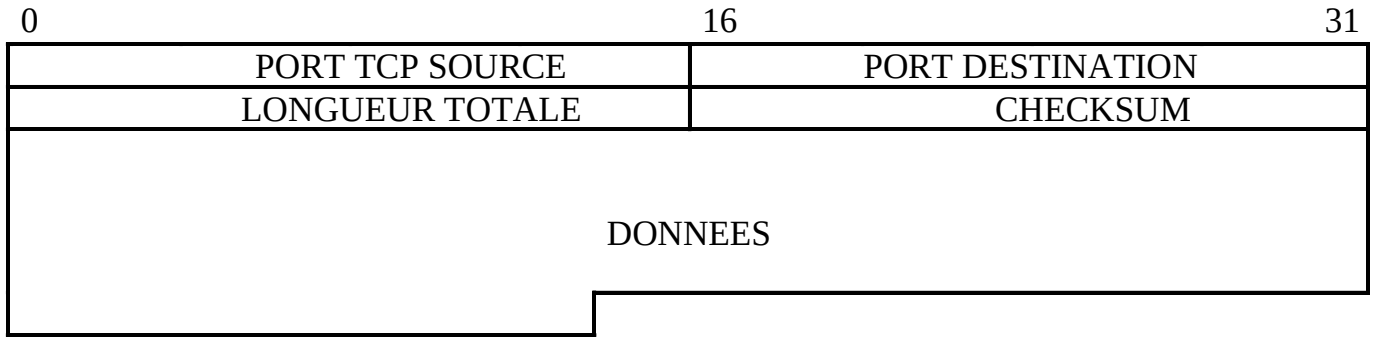
Présentation

UDP : « User Datagram Protocol »

- RFC 768
- Utilise IP pour acheminer les messages d'un hôte à un autre.
- Services rendus :
  - Adressage des applications par numéro de port
  - Détection d'erreur optionnelle
- Même type de service non fiable, non connecté, que IP :
  - Possibilité de perte, duplication, déséquencement de messages
  - Pas de régulation de flux

Un programme applicatif utilisant UDP doit gérer lui-même ces problèmes !

Format des datagrammes UDP



- Entête de taille fixe : 8 octets
- Champ de données de taille variable
- Longueur totale : Entête + Données

Les numéros de port

Accès à une machine du réseau :

➔ adresse IP

Accès à un processus dans une des machines du réseau :

➔ numéro de port

Types de n° de port :

1. Réservés (en général n°≤1024), attribués à des services spécifiques.

   Exemples : 20/FTP-DATA, 21/FTP, 69/TFTP, 80/HTTP, etc.

2. Réservés localement et choisis pour une application

3. Attribués dynamiquement, choisis par le système parmi les n° libres

Détection des erreurs

- CHECKSUM
  - Champ de contrôle d'erreur
  - Calculé par l'émetteur sur le message transmis
  - Vérifié par le récepteur
    - Si erreur détectée, le datagramme est détruit (ie. ignoré).
- Détection d'erreur optionnelle (CHECKSUM=0)

Le protocole TCP

Transmission Control Protocol

(RFC 793, corrigée par RFC 1122 et 1323)

Le protocole TCP

1. Présentation

2. Format des segments TCP
   1. Les numéros de port
   2. Les différents rôles des segments
   3. Numéros de séquence et d'acquittement
   4. Fenêtre
   5. Autres champs

3. Le mécanisme de « fenêtre glissante »
   1. Principes
   2. Protection contre les erreurs
   3. Contrôle de flux

4. Mode connecté
   Connexion / Transfert / Déconnexion

Présentation

TCP : « Transmission Control Protocol »

RFC 793, RFC 1122 et 1323

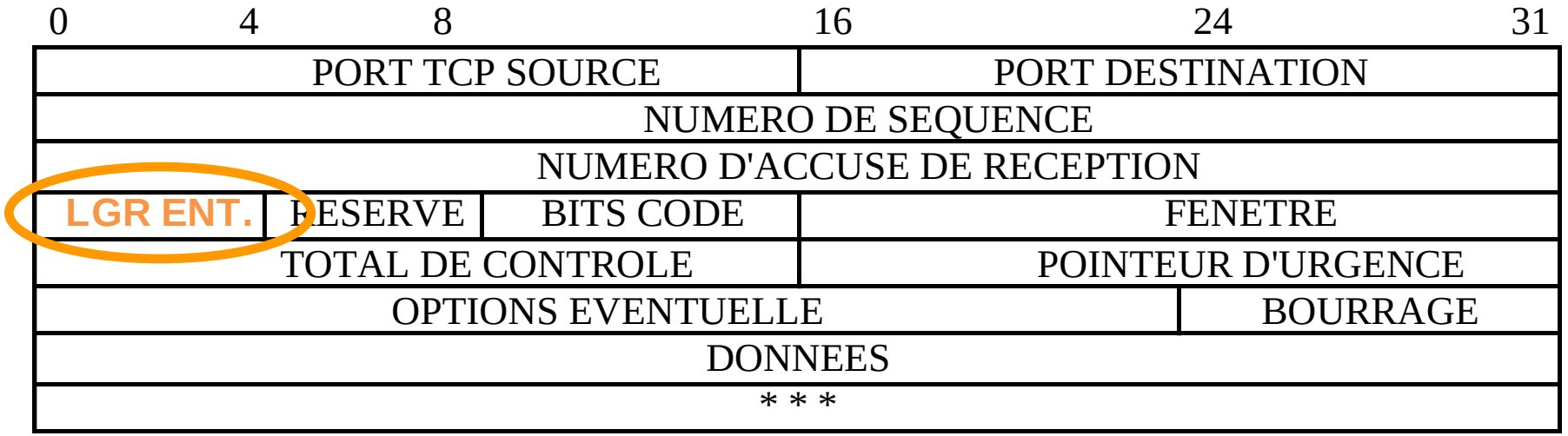
Transmission de données :

- Par paquets (segments) de tailles variables
- **Mode connecté** (3 phases)
- Mode bidirectionnel simultané (technique « **piggy backing** »)
  - chaque sens de transmission transmet ses propres données et les informations de contrôle de l'autre sens (ACK).
- Port et **circuit virtuel**
- Flux non structuré de données : message = un **flot d'octets** ("Stream")
- **Fiable** : mécanisme d'anticipation (fenêtre glissante)
  - contrôle et récupération des erreurs
  - on acquitte sur le dernier octet d'une "séquence sans trou"
  - retransmission si temporisateur expire

Protocole **complexe** très **coûteux** (Ressources mémoire et CPU) !

(Nouveaux besoins => nouveau protocole (SCTP))

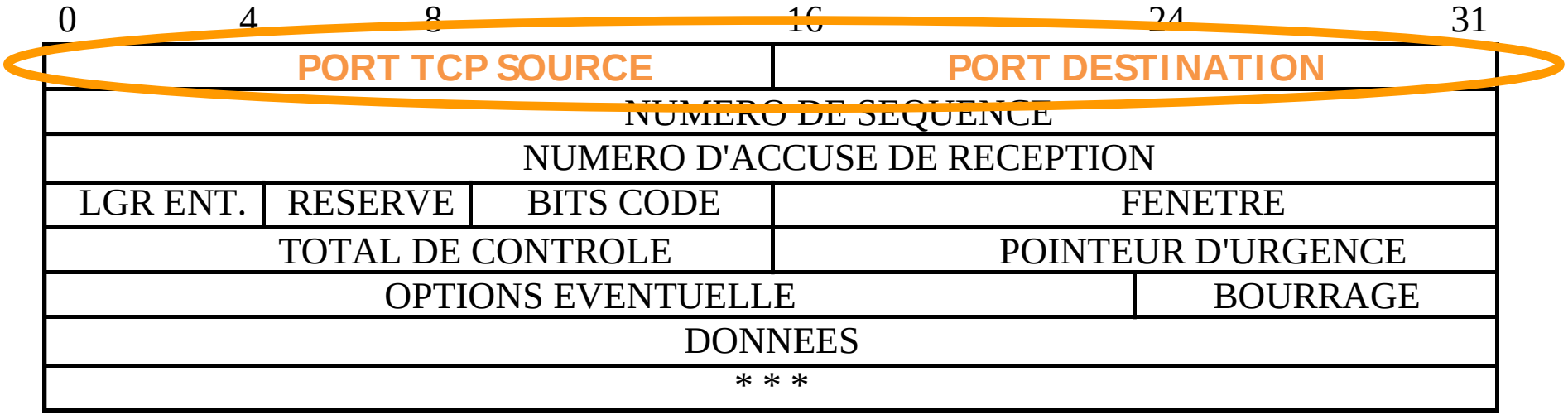
Segment TCP



1. Entête :
   - une partie de taille fixe,
   - une partie de taille variable (les options).
2. Champ de données de taille variable.

LGR ENT sur 4 bits : longueur de l'entête (en mots de 4 octets)

Les numéros de port

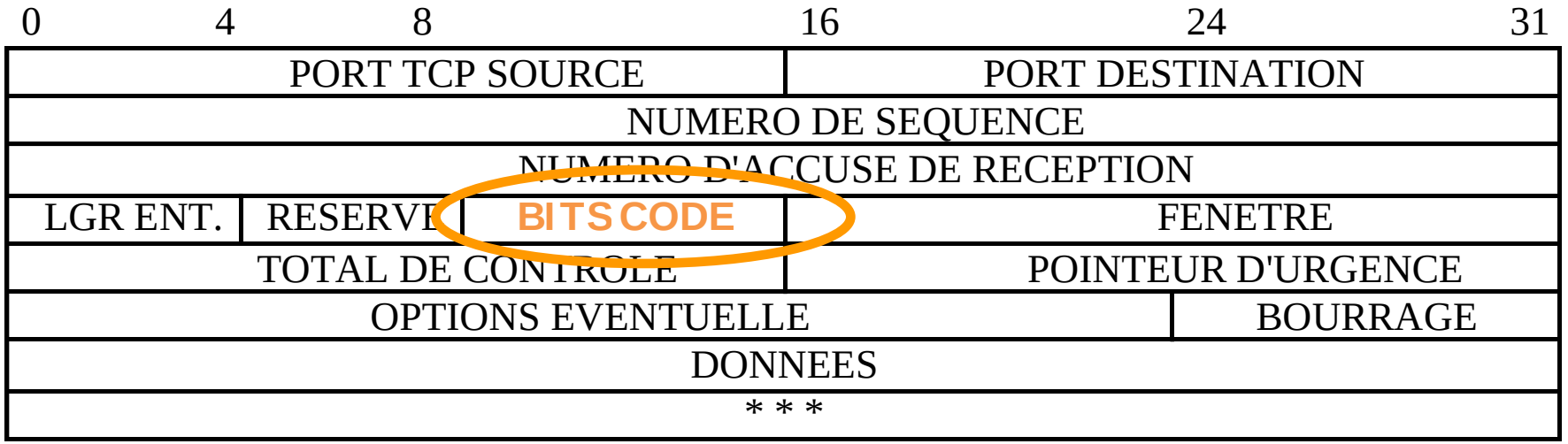


PORT SOURCE, PORT DESTINATION

- indiquent les numéros de port qui identifient les programmes d'application aux deux extrémités

Une connexion est identifiée par le quadruplet :
(adr IP source, port source, adr IP destination, port destination)

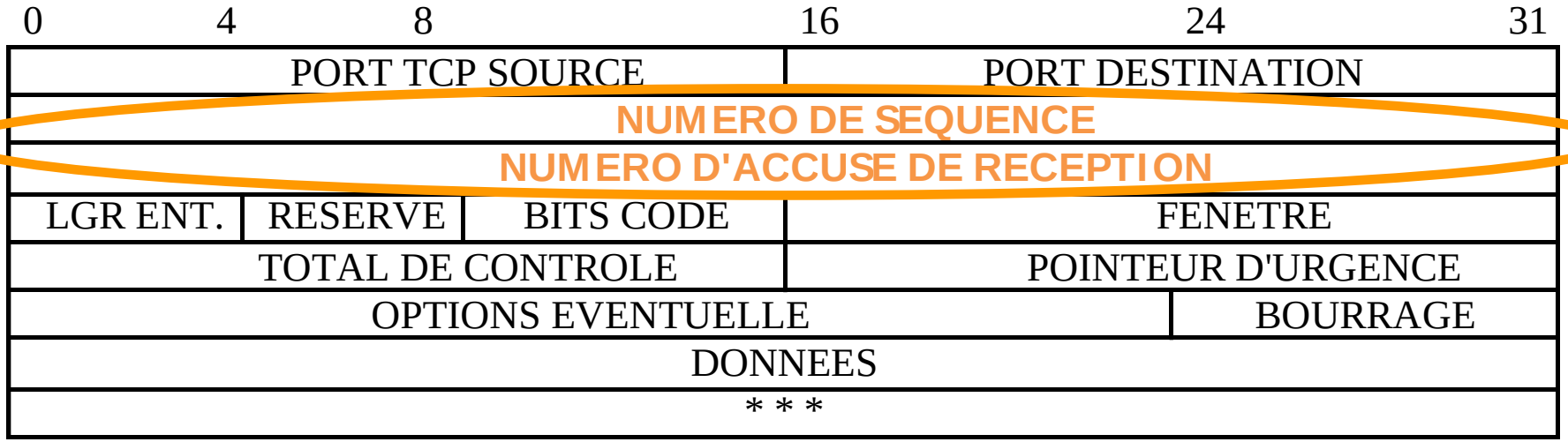
Les différentes fonctions du segment



champ **BITS CODE** (6 bits) : permet de préciser la ou les fonctions du segment:

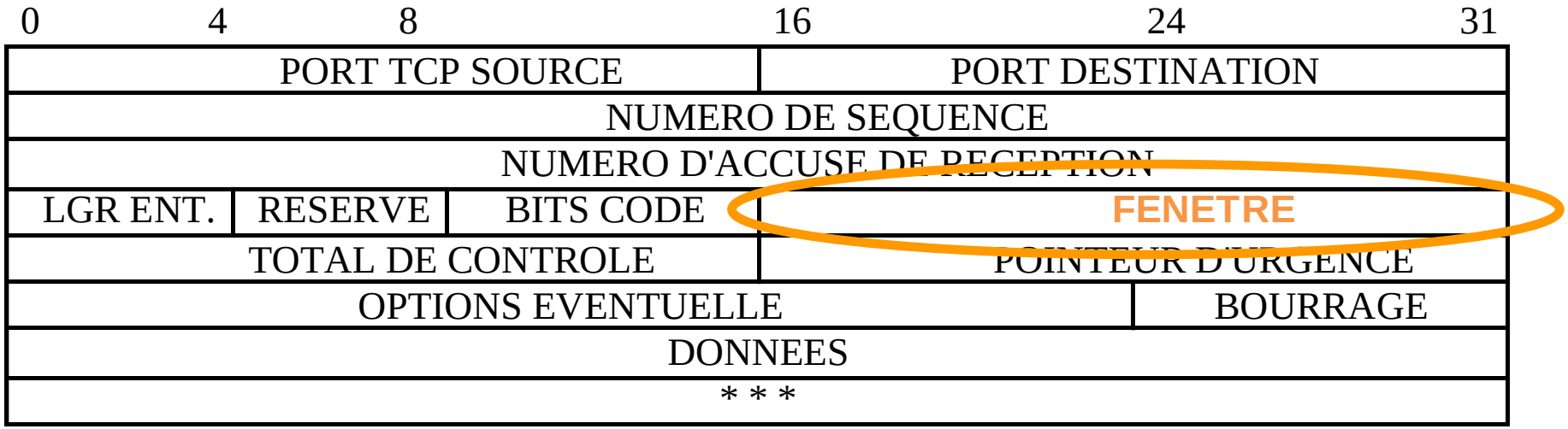
- URG: Le pointeur de données urgentes est valide
- ACK: Le champ accusé de réception est valide
- RST: Réinitialise la connexion
- SYN: Demande de connexion
- FIN: Demande de déconnexion
- PSH: livraison immédiate du segment

Numéros de séquence et d'acquittement



- **NUMERO D'ACCUSE DE RECEPTION**
  - indique le numéro du prochain octet attendu par le récepteur.
- **NUMERO DE SEQUENCE**
  - est celui du premier octet du segment.

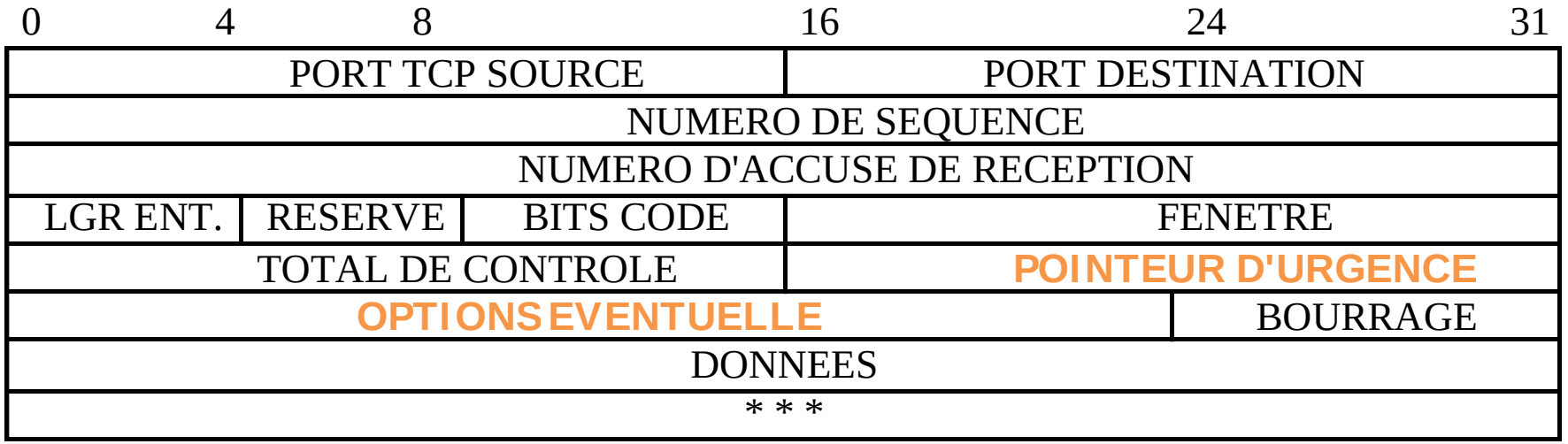
Fenêtre…



FENETRE

- permet d'interagir sur la taille de la fenêtre émission de l'autre extrémité.

Autres champs…



POINTEUR D'URGENCE

- permet de repérer dans le flot de données la position de données urgentes (qui doivent "doubler" les autres données) lorsque le bit URG est positionné.

OPTION

- permet entre autres la négociation de la taille de segment à la connexion.

Mécanisme de « fenêtre glissante »

« Sliding Window »

Mécanisme permettant à la fois :

- le contrôle des erreurs, pertes, duplication, déséquencement,
- le contrôle de flux et de congestion,

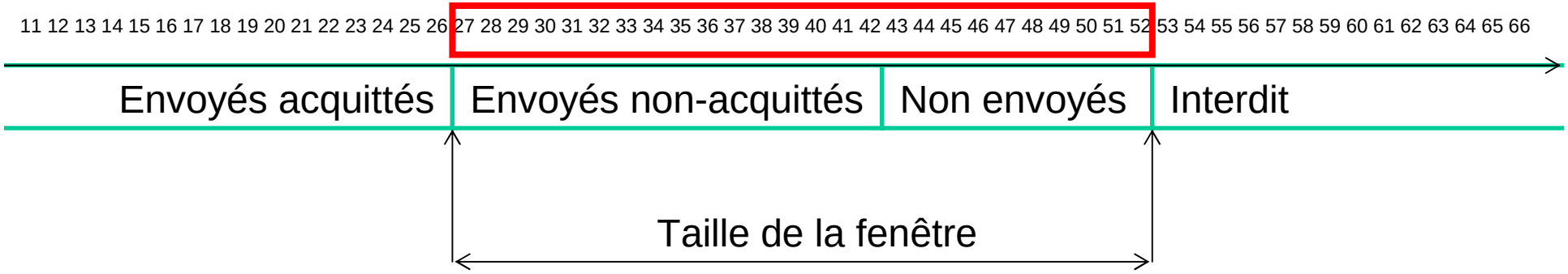
tout en assurant une transmission optimale (envoi anticipé de données avant la réception des acquittements des données déjà envoyées).

Basé sur :

- l'identification des octets ⇒ leur numérotation
- la détection des erreurs ⇒ « checksum »
- la détection des pertes ⇒ acquittement & temporisateur
- la récupération des pertes ⇒ retransmission

Utilisé dans de nombreux autres protocoles : HDLC, X25, etc.

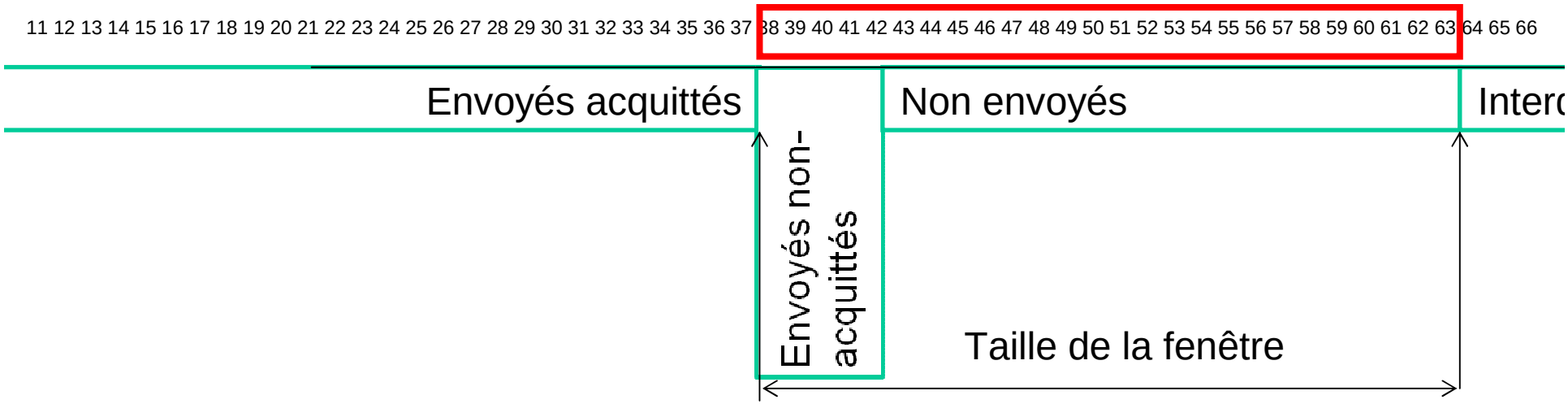
Mécanisme de « fenêtre glissante »



Réception d'un acquittement (exemple ACK 37) :

- La fenêtre avance…

Mécanisme de « fenêtre glissante »



Protection contre les erreurs

Détection des erreurs :

- Champ de détection d'erreur (Checksum)
- Les segments TCP erronés sont détruits

Récupération des pertes (erreurs) s'appuie sur un mécanisme de retransmission :

- Un temporisateur armé lors de l'émission de chaque segment TCP
- Chaque segment est numéroté
- Un acquittement acquitte tous les octets précédents

Contrôle de flux

Fenêtre côté récepteur :

- Nombre d'octets pouvant être stockés par le récepteur.
- Taille de la fenêtre contrôlée par l'émetteur :
  - Espace de stockage du récepteur presque plein ⇒ diminution de la largeur de la fenêtre,
  - Espace de stockage du récepteur presque vide ⇒ augmentation de la largeur de la fenêtre.

Mode connecté

Trois phases :

1. Etablissement de la connexion
   - par 3 échanges,
   - initialisation du numéro de séquence initial,
   - bits “Syn”, “Ack” du champ Code.

2. Transfert de données

3. Libération de la connexion
   - 2 doubles échanges,
   - bits “Fin” et “Ack” du champ Code.

6. Socket

6-Sockets

1. Généralités
2. Interface des sockets : Mode connecté
3. Source Socket : Mode connecté
4. Source Socket : Mode connecté avec fichier de haut niveau

A quoi servent les sockets ?

- Applications client/serveur
  - Transfert de fichiers, Connexion à distance, Courrier électronique, Groupe de discussions, Web, Jeux en réseau, etc.
- Applications réparties
    - Java RMI, CORBA, .NET Remoting

Comment implémenter de telles applications : **les sockets (« prises »)**

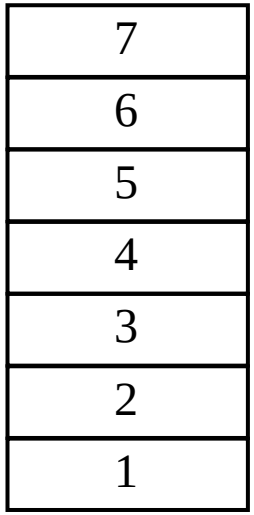
Le paradigme de communication Client/Serveur

- Interaction client/serveur
  - Requête envoyée par le client suivie d'une réponse envoyée par le serveur
  - Demande d'exécution d'un traitement à distance et réception de la réponse
- « Appel procédural » avec appelant et appelé non situés sur la même machine

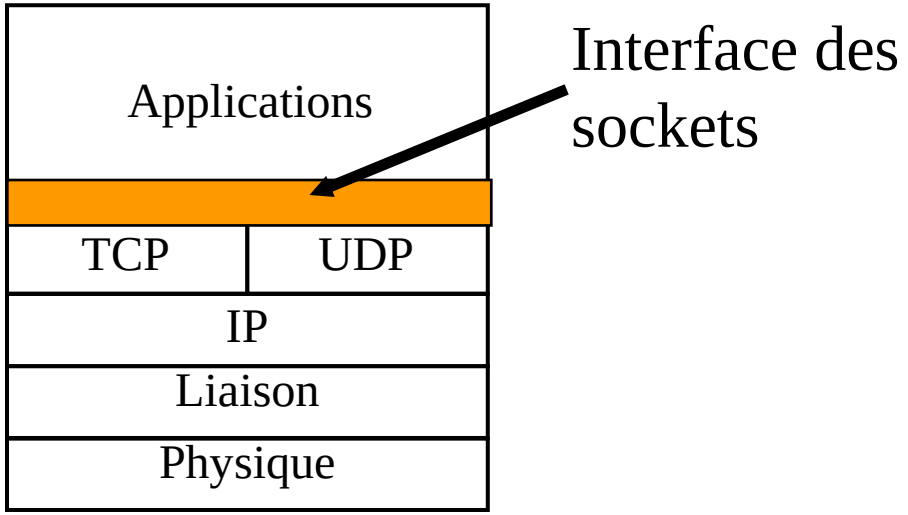
Les sockets

- Mécanisme de communication bidirectionnel inter-processus
- Présent dans tous les systèmes exploitation
  - 1983: L'université de Berkeley lance le BSD 4.2 incluant d'origine le protocole de communication TCP/IP et l'interface des sockets.
- Interface applicative
  - Interface entre les couches application et transport
  - Ensemble de primitives : socket, connect, write, read, close, bind, listen, accept…
  - Adaptée aux protocoles TCP et UDP…

Découpage en couches



Modèle OSI



Modèle TCP/IP

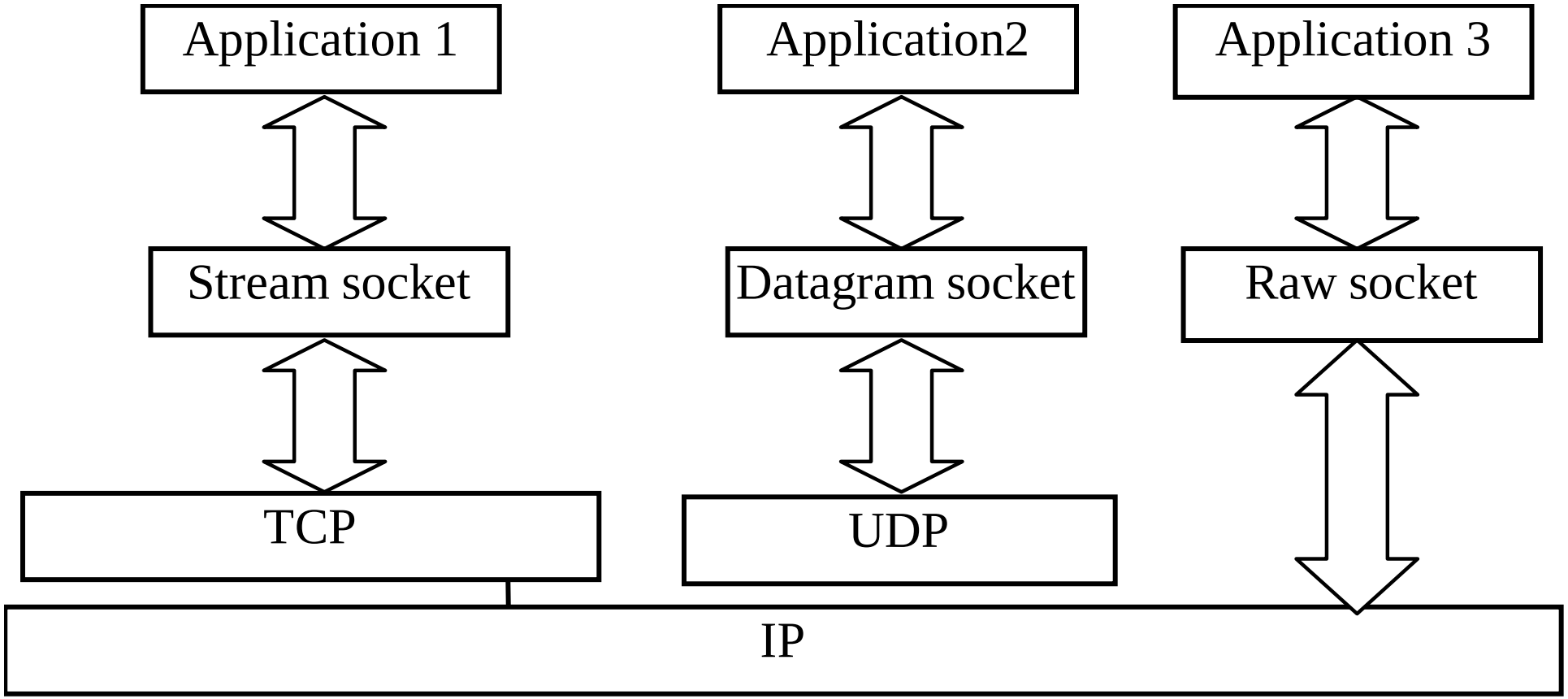
Attributs des sockets

- un nom
  - Descripteur de fichier
- un type
  - SOCK_STREAM : mode connecté, remise fiable (TCP/IP)
  - SOCK_DGRAM : mode datagramme, non connecté + remise non fiable (UDP/IP)
  - RAW : mode caractère (pour accès direct aux couches inférieures comme IP)
- associé à un processus
- une adresse (adresse IP + n° port)

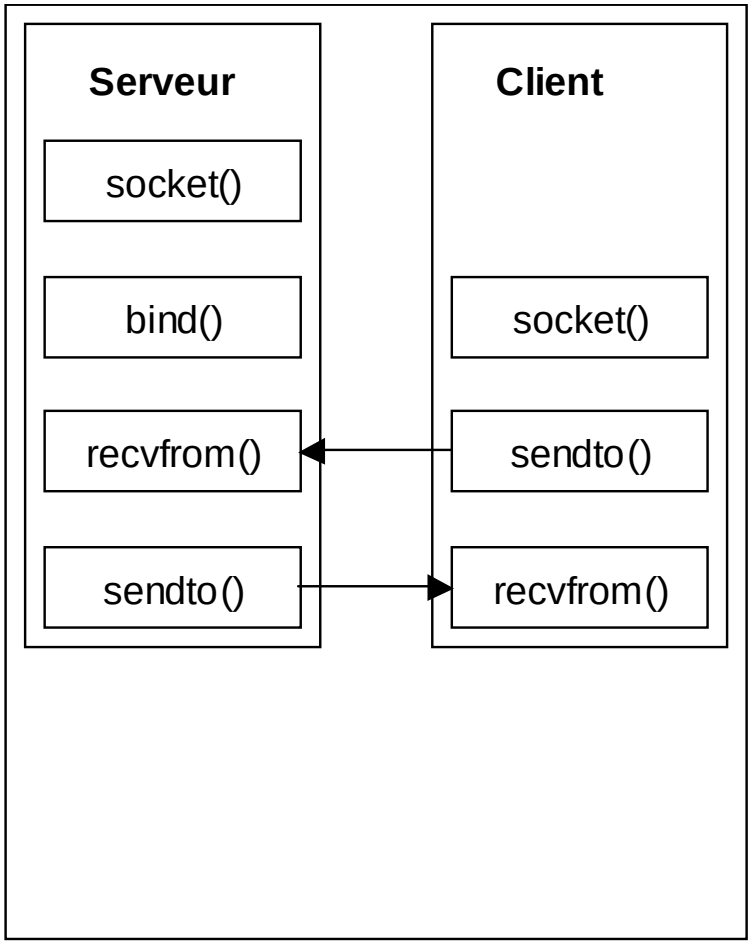
INTERFACE DES SOCKETS

1. **Généralités**
2. Interface des sockets : Mode connecté
3. Source Socket : Mode connecté
4. Source Socket : Mode connecté avec fichier de haut niveau

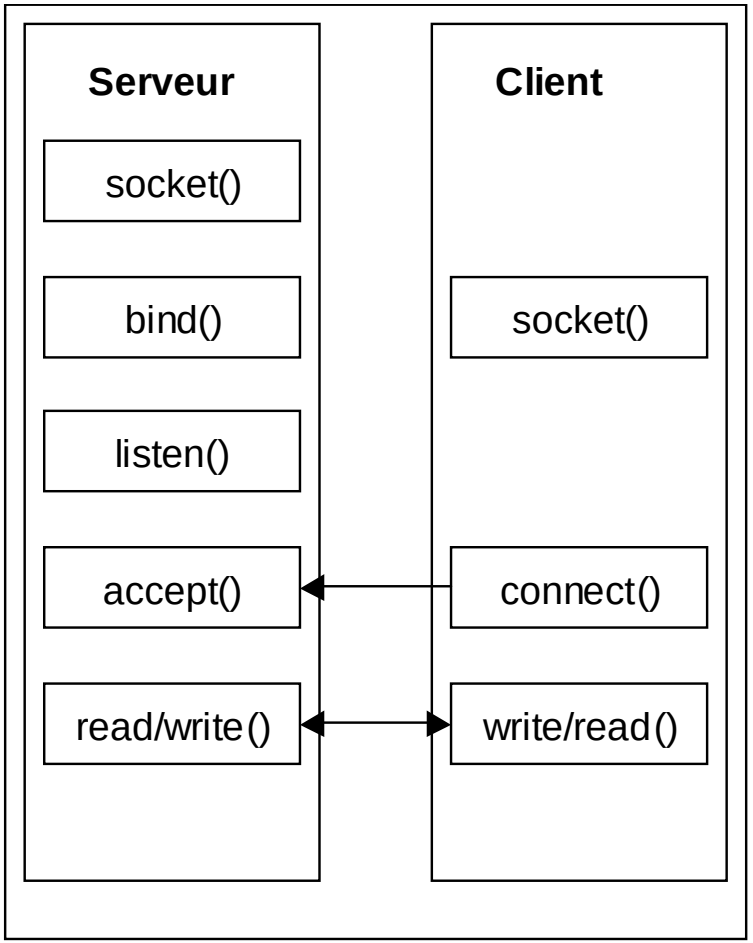
Types de socket et protocoles



Modes de dialogue et primitives



Dialogue client/serveur en mode datagramme



Dialogue client/serveur en mode connecté

Structure de données

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

struct sockaddr {
   unsigned short sa_family; //famille de protocole pour cette adresse
   char  sa_data[14];          // 14 octets d'adresse
   }

struct sockaddr_in {          // _in pour Internet
   short sin_family;          //famille de protocole pour cette adresse
   u_short sin_port;          //numéro de port (0=port non utilisé)
   struct in_addr sin_addr; //adresse IP
   char  sin_zero[8];         //non utilisé
   }

struct in_addr {
   u_long s_addr; //soit 4 octets : bien pour une adresse IP !
   };
```

Création & fermeture

- **`int socket(int af, int type, int protocole)`**
  - création d'une structure de donnée (appelée socket) permettant la communication,
  - af = famille de protocole (TCP/IP, ou d'autres...)
    - AF_INET :domaine Internet (domaine que nous utiliserons)
    - AF_UNIX :domaine UNIX (pour donner un autre exemple)
  - type = SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM, RAW
  - protocole : 0 pour protocole par défaut (voir <netinet/in.h>)
  - Retourne :
    - un descripteur de socket
    - -1 si erreur
- **`close(int socket)`**
  - Ferme la connexion et supprime la structure de données «socket» associée
- **`shutdown(int socket, int how)`**
  - how: 0/1/2 pour réception interdite/émission interdite/réception&émission interdite

Spécification d'adresse locale

- **`int bind(int socket, struct sockaddr * adresse-locale, int longueur-adresse)`**
  - Associe un numéro de port et une adresse locale à une socket, retourne –1 si erreur.
  - socket = descripteur de socket
  - adresse-locale = structure qui contient l'adresse (adresse IP + n° de port)
    - Si n° de `port=0`
      - choix d'un numéro de port non utilisé
    - Si `adresse IP = INADDR_ANY`:
      - utilisation de l'adresse IP de la machine
  - longueur-adresse : `sizeof(struct sockaddr)`

Diverses primitives utile 1/1

- **`struct hostent gethostbyname(char *name)`**
  - pour traduire un nom de machine en adresse IP

```
struct hostent *h;
h=gethostbyname("stargate.ist.ga");
printf("adresse IP: %s\n",
        inet_ntoa(*((struct in_addr *)h->h_addr)));
```

- **`getsockname(int desc, struct sock_addr * p_adr, int * p_longueur)`**
  - pour récupérer l'adresse effective d'une socket (après bind)

Diverses primitives utiles 2/2

- Conversion Network Byte Order (68000) – Host Byte Order (Intel)
  - **`htons`(): 'Host to Network Short'**
  - **`htonl`(): 'Host to Network Long'**
  - **`ntohs`(): 'Network to Host to Short'**
  - **`ntohl`(): 'Network to Host to Long'**
- **ATTENTION**: toujours mettre les octets dans l'ordre 'Network Order' avant de les envoyer sur le réseau
- **`in_addr inet_addr(char *)`**
  - Convertit une adresse 'ASCII' en entier long signé (en Network Order)
  - socket_ad.sin_addr.s_addr = **inet_addr**("172.16.94.100")
- **`char * inet_ntoa(in_addr)`**
  - Convertit entier long signé en une adresse 'ASCII'

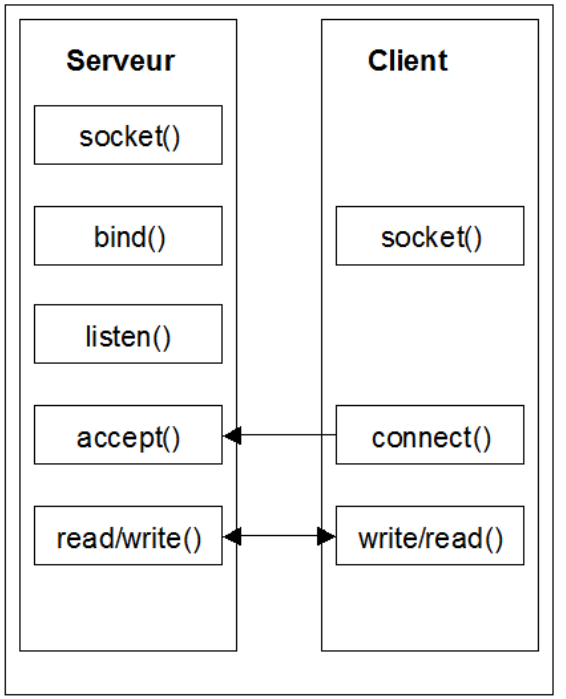
```
char *ad1_ascii;
ad1_ascii=inet_ntoa(socket_ad.sin_addr),
printf("adresse: %s\n",ad1_ascii);
```

INTERFACE DES SOCKETS

1. Généralités
2. **Interface des sockets : Mode connecté**
3. Source Socket : Mode connecté
4. Source Socket : Mode connecté avec fichier de haut niveau

Communication en mode connecté

- Dissymétrie lors de la connexion
  - Le serveur attend…
  - Le client demande une connexion
- Symétrie dans l'échange d'informations
  - Le client ou le serveur peut
    - envoyer/recevoir des informations
    - Demander la fin de la connexion
- Echange d'un flot continu de caractères
  - Pas de structure en message



Connexion TCP

- **`connect(socket,adr-destination,longueur-adr)`**
  - Côté client
  - Pour établir une connexion TCP avec le processus serveur
  - L'adresse IP et le numéro de port sont spécifiés
  - Appel bloquant jusqu'à la fin de la prise en compte de la connexion par le serveur

    (configuration par défaut, peut-être modifiée…)

Création d'une file d'attente

- `listen(int socket, int lgr-file)`
  - Côté serveur
  - crée une file d'attente pour les demandes de connexion
  - Place la socket en 'mode connexion'
  - lgr-file indique le nombre maximal de demandes de connexion autorisées dans la file (5, 10 ou 20)
  - file d'attente exploitée par la primitive accept.

Acceptation d'une connexion TCP

- newsock = **accept** (socket, adresse, lgr-adresse)
  - côté serveur
  - prise en compte d'une demande de connexion entrante sur un socket de 'connexion'.
  - primitive bloquante
  - newsock : nouveau descripteur de socket sur laquelle s'effectuera l'échange de données
  - adresse : adresse du client.
  - le processus peut
    - traiter lui-même la nouvelle connexion, puis revenir à accept,
    - ou bien se répliquer (fork() en UNIX) pour la traiter, le processus père étant toujours à l'écoute.
      (cf schéma tableau ou diapos 40-47 de C. Pain-Barre)

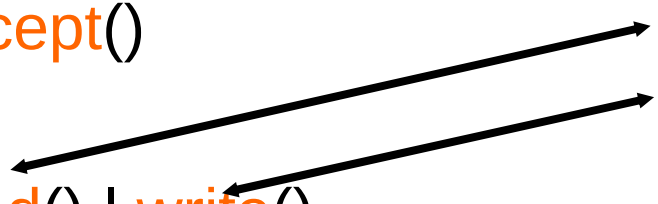
Lecture-Ecriture TCP

- **write**(socket, tampon, longueur)

  read(socket, tampon, longueur)
  - Envoie/reçoit des données sur une connexion TCP
  - Plus besoin de l'adresse émetteur/destinataire !

Exemple de dialogue (connecté)

- Sur le serveur
  - socket()
  - bind() : nommage
  - listen()
  - accept()
  - read() | write()



- Sur le client

Créer une socket : socket()

Connecter la socket au serveur:
connect()

Tant que pas fini

envoyer une requête: write()

lire la réponse: read()

traiter la réponse

Fermer la socket : close()

INTERFACE DES SOCKETS

1. Généralités
2. Interface des sockets : Mode connecté
3. **Source Socket : Mode connecté**
4. Source Socket : Mode connecté avec fichier de haut niveau

Bigben-Serveur (1/3)

```
int main(int argc, char * argv[]) {
  int fdTravail, port;
...
/* initialisation du service */
  port=atoi(argv[1]);
  fd=init_service(port);
/* gestion des connexions de clients */
  while(1) {
/* acceptation d'une connexion */
    fdTravail=accept(fd,NULL,NULL);
    if (fdTravail<=0) FATAL("accept");

    if (fork()==0) { /* fils : gestion du dialogue avec client */
      close(fd);
      travail_fils(fdTravail);
      close(fdTravail);
      exit(0);
    }
    else { /* père : repart a l'ecoute d'une autre connexion */
      close(fdTravail);
    }
  }
}
```

Bigben-Serveur (2/3)

```
int init_service(int port)
{
  int fdPort;
  struct sockaddr_in addr_serveur;
  socklen_t lg_addr_serveur = sizeof addr_serveur;

/* creation de la prise */
  fdPort=socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
  if (fdPort<0) FATAL("socket");
/* nommage de la prise */
  addr_serveur.sin_family      = AF_INET;
  addr_serveur.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
  addr_serveur.sin_port        = htons(port);
  if (bind(fdPort,(struct sockaddr *)&addr_serveur, lg_addr_serveur) < 0)
                FATAL("bind");
/* Recuperation du nom de la prise */
  if (getsockname(fdPort,(struct sockaddr *)&addr_serveur, &lg_addr_serveur) < 0)
                FATAL("getsockname");
/* Le serveur est a l'ecoute */
  printf("Le serveur ecoute le port %d\n",ntohs(addr_serveur.sin_port));
/* ouverture du service */
  listen(fdPort,4);
  return fdPort;
}
```

Bigben-Serveur (3/3)

```
void travail_fils(int fdTravail)
{
  long horloge;
  struct tm *temps;
  char tampon[2];
  int h,m,s;

  /* preparation de la reponse */
  time(&horloge);
  temps=localtime(&horloge);
  h = temps->tm_hour;
  m = temps->tm_min;
  s = temps->tm_sec;

  /* envoi de la reponse */
  sprintf(tampon, "%02d", h);
  write(fdTravail,tampon,2);
  sprintf(tampon, "%02d", m);
  write(fdTravail,tampon,2);
  sprintf(tampon, "%02d", s);
  write(fdTravail,tampon,2);
}
```

Bigben-Client (1/3)

Bigben–Client

```
...

int main(int argc, char * argv[])
{
  int port;
  char *hostname;

...

  /* ouverture de la connexion */
  hostname=argv[1];
  port=atoi(argv[2]);
  fd=connexion(hostname,port);

  /* travail */
  travail(fd);

  close(fd);
  exit(0);
}
```

Bigben-Client (2/3)

```
int connexion(char *hostname, int port){
  int fdPort;
  struct sockaddr_in addr_serveur;
  socklen_t lg_addr_serveur = sizeof addr_serveur;
  struct hostent *serveur;

  /* creation de la prise */
  fdPort=socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
  if (fdPort<0) FATAL("socket");

  /* recherche de la machine serveur */
  serveur = gethostbyname(hostname);
  if (serveur == NULL) FATAL("gethostbyname");

  /* remplissage adresse socket du serveur */
  addr_serveur.sin_family      = AF_INET;
  addr_serveur.sin_port        = htons(port);
  addr_serveur.sin_addr        = *(struct in_addr *) serveur->h_addr;

  /* demande de connexion au serveur */
  if (connect(fdPort,(struct sockaddr *)&addr_serveur, lg_addr_serveur) < 0)
        FATAL("connect");
  return fdPort;
}
```

Bigben-Client (3/3)

```
void travail(int fd)
{
  char h[3],m[3],s[3];

  /* recuperation reponse du serveur */
  if (read(fd,h,2) != 2) FATAL("read h");
  h[2]='\0';
  if (read(fd,m,2) != 2) FATAL("read m");
  m[2]='\0';
  if (read(fd,s,2) != 2) FATAL("read s");
  s[2]='\0';

  printf("Il est %s:%s:%s sur le serveur\n",h,m,s);
}
```

INTERFACE DES SOCKETS

1. ~~Généralités~~
2. Interface des sockets : Mode connecté
3. Source Socket : Mode connecté
4. **Source Socket : Mode connecté avec fichier de haut niveau**

Bigben-Serveur - Fichier de haut niveau (1/2)

```
/* Taille maximale d'une ligne envoyee par serveur */
#define TAILLEMAXLIGNE 8
int main(int argc, char * argv[]) {
  int fdTravail, port;
  FILE *out;
...
  /* gestion des connexions de clients */
  while(1) {
    /* acceptation d'une connexion */
    fdTravail=accept(fd,NULL,NULL);
    if (fdTravail<=0)
      FATAL("accept");

    if (fork()==0) { /* fils : gestion du dialogue avec client */
      close(fd);
      /* Ouverture de fichiers de haut niveau (cf. polycop systeme) */
      out = fdopen(fdTravail,"w");
      /* travail */
      travail_fils(out);
      close(fdTravail);
      exit(0);
    }
    else { /* pere : repart a l'ecoute d'une autre connexion */
      close(fdTravail);
    }
  }
}
```

Bigben-Serveur-Fichier de haut niveau (2/2)

```
void ecrireligne(FILE *out, char ligne[]){
  fprintf(out,"%s\n",ligne);
  fflush(out);
}

void travail_fils(FILE *out){
  long horloge;
  struct tm *temps;
  char tampon[TAILLEMAXLIGNE];
  int h,m,s;

  /* preparation de la reponse */
  time(&horloge);
  temps=localtime(&horloge);
  h = temps->tm_hour;
  m = temps->tm_min;
  s = temps->tm_sec;

  /* envoi de la reponse */
  sprintf(tampon, "%02d", h);
  ecrireligne(out,tampon);
  sprintf(tampon, "%02d", m);
  ecrireligne(out,tampon);
  sprintf(tampon, "%02d", s);
  ecrireligne(out,tampon);
}
```

Bigben-Client - Fichier de haut niveau (1/2)

```
/* Taille maximale d'une ligne recue du serveur */
#define TAILLEMAXLIGNE 8
int main(int argc, char * argv[]) {
  int port;
  char *hostname;
  FILE *in;
…
  /* ouverture de la connexion */
  hostname=argv[1];
  port=atoi(argv[2]);
  fd=connexion(hostname,port);
  /* Ouverture de fichiers de haut niveau (cf. polycop systeme) */
  in  = fdopen(fd,"r");
  /* travail */
  travail(in);
  close(fd);
  exit(0);
}
```

Bigben-Client – Fichier de haut niveau (2/2)

```
char *lireligne(FILE *in, char ligne[]){
  char *p;
  p = fgets(ligne,TAILLEMAXLIGNE,in);
  /* la lecture s'arrête après \n */
  return p;
}
```

Affichage : 13
:15
:25

```
void travail(FILE *in) {
  char h[TAILLEMAXLIGNE],m[TAILLEMAXLIGNE],s[TAILLEMAXLIGNE];
  /* recuperation reponse du serveur */
  lireligne(in,h);
  lireligne(in,m);
  lireligne(in,s);
  printf("Il est %s:%s:%s sur le serveur\n",h,m,s);
}
```