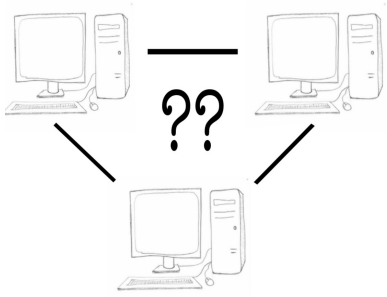
PROGRAMMATION RÉSEAU

Arnaud Sangnier
sangnier@liafa.univ-paris-diderot.fr

La concurrence en C



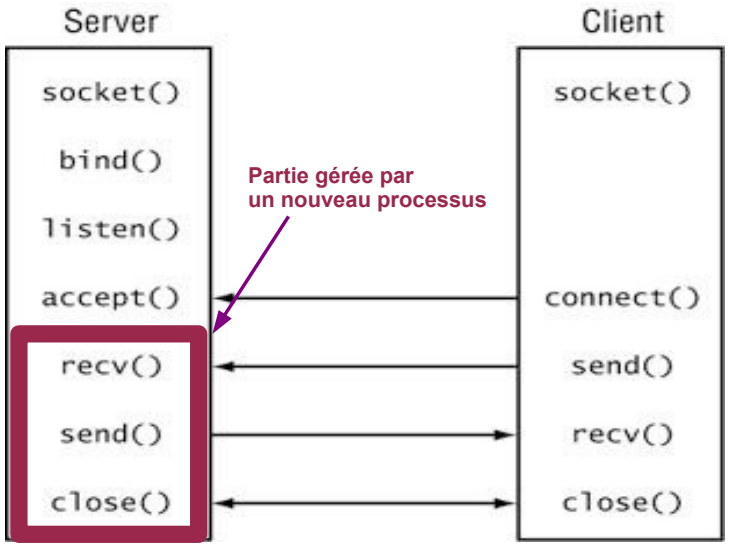
Exemple de serveur en C

```
int main() {
  int sock=socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
  struct sockaddr_in address_sock;
  address_sock.sin_family=AF_INET;
  address_sock.sin_port=htons(4242);
  address_sock.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  int r=bind(sock,(struct sockaddr *)&address_sock,sizeof(struct sockaddr_in));
  if(r==0){
    r=listen(sock,0);
    while(1){
      struct sockaddr_in caller;
      socklen_t size=sizeof(caller);
      int sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&size);
      if(sock2>=0){
        char *mess="Yeah!\n";
        write(sock2,mess,strlen(mess)*sizeof(char));
        char buff[100];
        int recu=read(sock2,buff,99*sizeof(char));
        buff[recu]='\0';
        printf("Message recu : %s\n",buff);
        close(sock2);
      }
    }
  }
  return 0;
}
```


Problème du serveur séquentiel

- Le serveur précédent ne peut pas accepter plusieurs connexions simultanées
- Si il est en train de communiquer avec un client, un autre client qui fait **connect** sera mise en attente
- **Comment éviter cela :**
  - Faire un serveur concurrent
  - À chaque **accept**, créer un nouveau processus ou thread qui gère la communication
  - Comme en Java, il faudra faire attention
    - aux données partagées entre les différents threads
    - à comment on gère l'ouverture et la fermeture de socket

Schéma Client-Serveur en C



À propos des processus

- Un processus est un **programme** (de nature statique) en cours d'**exécution** (de nature dynamique
  - son exécution nécessite un environnement
    - espace d'adressage
    - objets entrées/sorties (par exemple sortie standard et entrée standard)
- Plusieurs processus peuvent s'exécuter sur une même machine de façon quasi-simultanée
  - Si le système d'exploitation est **à temps partagé** ou **multi-tâche**
  - Ce même sur une machine mono-processeur
  - Le système d'exploitation est chargé d'allouer les ressources
    - mémoire, temps processeur, entrées/sorties
  - On a *l'illusion du parallèlisme*

Création d'un nouveau processus

- En C, on peut créer un nouveau processus grâce à la fonction fork :
  - **pid_t fork(void);**
- Cette fonction :
  - Crée un processus fils
  - Renvoie un identifiant de processus PID
  - On peut tester si on est le processus père ou le processus père grâce au PID renvoyé
    - fork renvoie 0 pour le fils
    - fork renvoie l'identifiant du fils au père
- Autres fonctions utiles :
  - **pid_t getpid(void);** pour avoir l'id du processus courant
  - **pid_t getppid(void);** pour avoir l'id du processus père

Création d'un nouveau processus (2)

- En pratique :
  - Tout se passe dans le même code
  - On teste le retour de fork pour savoir si on est le père ou le fils
    - **if(fork()==0) {...}**
  - Cela permet de distinguer ensuite les exécutions du processus fils et du père
  - Points sur lesquels il faut être attentif
    - Les variables ne sont pas partagées
    - À la création d'un processus fils, l'espace d'adressage du père est copiée

Exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>

int main() {
  int id=getpid();
  printf("Je suis le processus %d\n",id);
  printf("Je fais un fork\n");
  int idfork=fork();
  if(idfork==0){
    int idfils=getpid();
    int idpere=getppid();
    printf("Je suis %d fils de %d\n",idfils,idpere);
  } else {
    printf("Mon fils est %d\n",idfork);
    int etat;
    waitpid(idfork, &etat, 0);
  }
  return 0;
}
```

Résultat

Serveur concurrent avec fork

- Au niveau du serveur, après
  - **int sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&size);**
- Le serveur créera un processus fils avec **fork**
- Le processus fils devra
  - Fermer son descripteur **sock**
  - Communiquer avec le client via son descripteur **sock2**
  - Fermer **sock2** à la fin de la communication
  - Faire **exit** pour terminer son exécution
- Le processus père devra
  - Fermer son descripteur **sock2**
  - Retourner sur l'**accept** pour attendre une nouvelle connexion
- **Vu que les espaces d'adressage sont copiés, si le père ferme son sock2, il ne ferme pas celui du fils**

Exemple

```
int main() {
  int sock=socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
  struct sockaddr_in sockaddress;
  sockaddress.sin_family=AF_INET;
  sockaddress.sin_port=htons(4244);
  sockaddress.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  int r=bind(sock,(struct sockaddr *)&sockaddress,sizeof(struct sockaddr_in));
  if(r==0){
    r=listen(sock,0);
    if(r==0){
      struct sockaddr_in caller;
      socklen_t si=sizeof(caller);
      while(1){
        int sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&si);
        if(sock2>=0){
          int idfork=fork();
          if(idfork==0){
            close(sock);
            /*Code de communication*/
            close(sock2);
            exit(0)1
          }
          else{
            close(sock2);
          }
        }
      }
  }
  return 0;
}
```


Exemple (2)

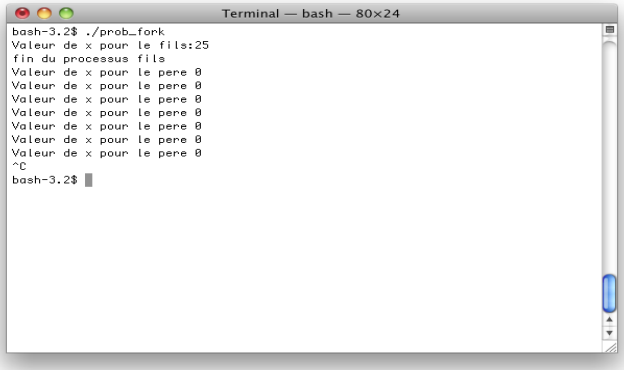
```
int main() {
  int sock=socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
  struct sockaddr_in address_sock;
  address_sock.sin_family=AF_INET;
  address_sock.sin_port=htons(4245);
  address_sock.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  int r=bind(sock,(struct sockaddr *)&address_sock,sizeof(struct sockaddr_in));
  if(r==0){
    r=listen(sock,0);
    if(r==0){
    }
    while(1){
      struct sockaddr_in caller;
      socklen_t size=sizeof(caller);
      int sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&size);
      if(sock2>=0){
        int idfork=fork();
        if(idfork==0){
          close(sock);
          printf("Port de l'appelant: %d\n",ntohs(caller.sin_port));
          printf("Adresse de l'appelant: %s\n",inet_ntoa(caller.sin_addr));
          close(sock2);
          exit(0) ;
        }
        else{
          close(sock2);
        }
      }
    }
  }
  return 0;
}
```

Problème avec le fork

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>

int main(){
  int pid = fork();
  int x=0;
  if ( pid == 0 ) {
    x=25;
    printf("Valeur de x pour le fils:%d\n",x);
    printf("fin du processus fils\n");
  }
  else {
    while(x!=25){
      sleep(2);
      printf("Valeur de x pour le pere %d\n",x);
    }
      printf("fin du processus pere\n");
  }
  return 0;
}
```


Résultat



- La variable x du père n'est pas la même que la variable x du fils
- Quand le fils met son x à 25 le père ne le voit pas
- Le père reste donc bloquer dans sa boucle et la valeur de sa variable x reste inchangée

Partage de variables

- Comme en Java, en C on peut avoir des processus légers (**threads**)

Threads vs Processus

- **Un thread** est un fil d'exécution dans un programme, qui est lui même exécuté par un processus
- Un processus peut avoir plusieurs threads
  - Il est alors **multi-threadé**
  - Au minimum il y a un thread
- Chaque fil d'exécution est distinct des autres et a pour attributs
  - Un point courant d'exécution (**pointeur d'intstruction**) ou ***PC (Program Counter)***)
  - Une pile d'exécution (***stack***)
- Les threads sont plus difficiles à programmer en C MAIS :
  - Implémentation plus efficace
  - Partage des données plus faciles

L'API POSIX

- En C, il existe une librairie classiquement utilisée pour la création et la manipulation de thread. La librairie **POSIX**
- Pour l'utiliser, il faut faire inclure le bon fichier :
  - **#include <pthread.h>**
- Mais il faut aussi préciser à la compilation que l'on souhaite utiliser cette librairie avec l'option -pthread
- Par exemple pour compiler un fichier test.c on pourra faire :
  - **gcc -pthread -Wall -o test test.c**

Création de thread

- Pour créer un thread, on utilise la fonction de création de thread :
  - **int pthread_create(**
    pthread_t *thread, //On stockera les données du thread créé
    const pthread_attr_t *attr, // Attributs du thread
    void *(*start_routine) (void *), // Fonctions à exécuter
    void *arg); // Arguments de la fonction à exécuter
- En pratique pour les attributs, on mettra **NULL** pour avoir les attributs par défauts
- Ces attributs permettent par exemple de donner une politique pour l'ordonnancer
- Le code qu'exécutera est donné par la fonction **start_routine**
- Dès que la fonction **pthread_create** a fini, le thread est créé et s'exécute

Création de thread en pratique

- On créé une fonction qui contient le code a exécuté par chacun des threads, de signature
  - **void *function(void *)**
- Si on veut donner des arguments à cette fonction au moment de l'appel de thread
  - on les passe comme dernière argument de la fonction **pthread_create**
- Il faut parfois attendre la fin d'exécution des thread créé :
  - si le programme principale termine avant, les threads sont détruits
  - on peut utiliser pour cela la fonction
    - **int pthread_join(pthread_t thread, void **value_ptr);**
  - le deuxième argument est celui créé par pthread_create
  - value_ptr est la valeur renvoyé par le thread en appelant
    - **void pthread_exit(void *value_ptr);**
  - Attention : un appel à exit fait terminer le processus !!!!

Exemple

- On commence par donner le code que va exécuter

```
void *affiche(void * arg){
    char *s=(char *) arg ;
    printf("Mon message est :%s",s) ;
    return NULL ;
}
```

- Ensuite pour créer un thread qui exécute cette fonction, on procède ainsi

```
pthread_t th1;
char *s1="Je suis thread 1\n";
 int r1=pthread_create(&th1,NULL,affiche,s1);
```

```
pthread_join(th1,NULL);
```

Exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>

void *affiche(void *ptr);

int main(){
  pthread_t th1, th2;
  char *s1="Je suis thread 1\n";
  char *s2="Je suis thread 2\n";
  pthread_create(&th1,NULL,affiche,s1);
  pthread_create(&th2,NULL,affiche,s2);

  pthread_join(th1,NULL);
  pthread_join(th2,NULL);
  return 0;
}

void *affiche(void *ptr){
  char *s=(char *)ptr;
  printf("Mon message est : %s",s);
  return NULL;
}
```


Exemple avec retour de fonction

```
int main(){
  pthread_t th1, th2;
  char *s1="Je suis thread 1\n";
  char *s2="Je suis thread 2\n";
  pthread_create(&th1,NULL,affiche,s1);
  pthread_create(&th2,NULL,affiche,s2);

  char *r1;
  char *r2;
  pthread_join(th1,(void **)&r1);
  pthread_join(th2,(void **)&r2);
  printf("%s",r1);
  printf("%s",r2);
  return 0;
}

void *affiche(void *ptr){
  char *s=(char *)ptr;
  printf("Mon message est : %s",s);
  char *mess=(char *)malloc(100*sizeof(char));
  strcat(mess,s);
  strcat(mess," Fini\n");
  return mess;
}
```

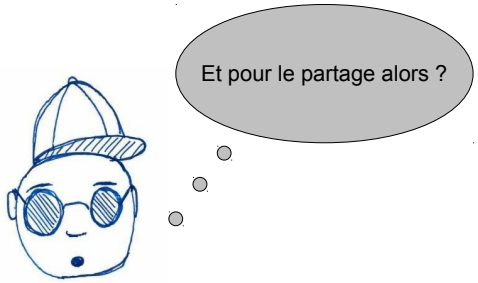

Exemple avec pthread_exit

```
int main(){
  pthread_t th1, th2;
  char *s1="Je suis thread 1\n";
  char *s2="Je suis thread 2\n";
  pthread_create(&th1,NULL,affiche,s1);
  pthread_create(&th2,NULL,affiche,s2);

  char *r1;
  char *r2;
  pthread_join(th1,(void **)&r1);
  pthread_join(th2,(void **)&r2);
  printf("%s",r1);
  printf("%s",r2);
  return 0;
}

void *affiche(void *ptr){
  char *s=(char *)ptr;
  printf("Mon message est : %s",s);
  char *mess=(char *)malloc(100*sizeof(char));
  strcat(mess,s);
  strcat(mess," Fini\n");
  pthread_exit(mess);
}
```


Partage de variables



- Soit on met ces variables en variables globales
- Soit on passe leur adresse en argument avec **pthread_create**

Exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>

void *inc(void *ptr);

int a=0;

int main(){
  pthread_t th1, th2;
  pthread_create(&th1,NULL,inc,NULL);
  pthread_create(&th2,NULL,inc,NULL);

  pthread_join(th1,NULL);
  pthread_join(th2,NULL);
  printf("a vaut %d\n",a);
  return 0;
}

void *inc(void *ptr){
  a=a+1;
  return NULL;
}
```


Retour sur notre serveur concurrent

- Pour programmer le serveur concurrent avec des threads, on va :
  - Créer un thread après chaque **accept**
  - La fonction qui sera exécuté par chaque thread sera en charge de la communication
  - Il faudra passer en argument de cette fonction, le descripteur de socket
    - En faisant attention à comment on le passe
  - Le thread devra uniquement fermer sa socket de communication lorsque sa conversation avec le client prendra fin
  - Le programme principal qui est censé ne jamais terminé (boucle **while(1){...}**) n'aura pas besoin de faire des **pthread_ join** pour attendre la fin d'exécution des thread communiquant avec les clients.

Fonction de communication

```
void *comm(void *arg){
  int sockcomm=*((int *)arg);
  char *mess="Hi\n";
  write(sockcomm,mess,strlen(mess)*sizeof(char));
  char buff[100];
  int recu=read(sockcomm,buff,99*sizeof(char));
  buff[recu]='\0';
  printf("Message recu : %s\n",buff);
  close(sockcomm);
  return NULL;
}
```


Exemple serveur

```
int main() {
  int sock=socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
  struct sockaddr_in sockaddress;
  sockaddress.sin_family=AF_INET;
  sockaddress.sin_port=htons(4244);
  sockaddress.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  int r=bind(sock,(struct sockaddr *)&sockaddress,sizeof(struct
sockaddr_in));
  if(r==0){
    r=listen(sock,0);
    if(r==0){
      struct sockaddr_in caller;
      socklen_t si=sizeof(caller);
      while(1){
        int sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&si);
        if(sock2>=0){
          pthread_t th;
          pthread_create(&th,NULL,comm,&sock2);
        }
      }
    }
  }
  return 0;
}
```

Mauvais exemple

```
int main() {
  int sock=socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
  struct sockaddr_in sockaddress;
  sockaddress.sin_family=AF_INET;
  sockaddress.sin_port=htons(4244);
  sockaddress.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  int r=bind(sock,(struct sockaddr *)&sockaddress,sizeof(struct sockaddr_in));
  if(r==0){
    r=listen(sock,0);
    if(r==0){
      struct sockaddr_in caller;
      socklen_t si=sizeof(caller);
      int sock2;
      while(1){
        sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&si);
        if(sock2>=0){
          pthread_t th;
          pthread_create(&th,NULL,comm,&sock2);
        }
      }
    } else {
      printf("Probleme de listen\n");
    }
  } else {
    printf("Probleme de bind\n");
  }
  return 0;
}
```

NON !!!!

Explication

- Dans l'exemple précédent :
  - la variable sock2 sera partagée entre tous les threads de communication
- Si un nouveau client arrive et que le accept est exécuté avant que le thread précédent ait pu stocké la valeur de sock2 concernant sa communication, il y aura des problèmes
- Pour cela il suffit que le client soit lent avant de stocker la valeur de sock2 pour sa communication
- En fait le problème arrive aussi dans l'exemple précédent
- **Bonne pratique de programmation : allouez dynamiquement la mémoire pour stocker les descripteurs**
- Et bien entendu il faut faire les free correspondant.

Exemple serveur correct

```
int main() {
  int sock=socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
  struct sockaddr_in sockaddress;
  sockaddress.sin_family=AF_INET;
  sockaddress.sin_port=htons(4245);
  sockaddress.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  int r=bind(sock,(struct sockaddr *)&sockaddress,sizeof(struct
sockaddr_in));
  if(r==0){
    r=listen(sock,0);
    if(r==0){
      struct sockaddr_in caller;
      socklen_t si=sizeof(caller);
      while(1){
        int *sock2=(int *)malloc(sizeof(int));
        *sock2=accept(sock,(struct sockaddr *)&caller,&si);
        if(*sock2>=0){
          pthread_t th;
          pthread_create(&th,NULL,comm,sock2);
        }
      }
    }
  }
}
```


Attention au partage des données

- Les threads s'exécutent en parallèle
- Vous ne pouvez faire aucune hypothèse sur l'ordonnanceur
- Si on n'est pas attentif sur la manipulation des variables partagées, on peut observer des comportements étranges
- Par exemple :
  - Un thread teste si une variable entière est positive avant de la décrémenter
  - Il est interrompu entre le test et la décrémentation
  - Un autre thread met la variable partagée à 0
  - Le premier thread met la variable à -1 ... ce qu'on ne voulait pas

Exemple de partage de données

```
void *inc(void *ptr);
void *dec(void *ptr);

int a=0;

int main(){
  pthread_t th1, th2,th3;
  pthread_create(&th1,NULL,inc,NULL);
  pthread_create(&th2,NULL,dec,NULL);
  pthread_create(&th3,NULL,dec,NULL);
  pthread_join(th1,NULL);
  pthread_join(th2,NULL);
  pthread_join(th3,NULL);
  printf("a vaut %d\n",a);
  return 0;
}

void *inc(void *ptr){
  a=a+1;
  return NULL;
}

void *dec(void *ptr){
  if(a>0){
    sleep(1);
    a=a-1;
  }
  return NULL;
}
```

Ce code peut potentiellement afficher -1

Comment protéger les données

- L'accès aux données partagées doit donc être protégé
- En Java, on utilisait le mot clef **synchronized**
- En C, on pourra utiliser des **verrous** (**mutex**)
- Le principe est suivant :
  - Un thread qui veut accéder à une donnée partagée demande le verrou
  - Si le verrou est libre, il continue son exécution
  - Si le verrou est pris, il bloque jusqu'à ce que le verrou soit libérer
  - Quand il a fini d'accéder aux variables partagées, il libére le verrou
- Ces verrous sont partagés entre les threads
- **Bonne pratique** : c'est un thread qui a pris le verrou qui doit le libérer

Les verrous en C

- La librairie POSIX a des verrous de type :
  - **pthread_mutex_t verrou ;**
- La première chose à faire est initialisée le verrou
- Le plus simple consiste à faire :
  - **verrou=PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER ;**
- Pour prendre le verrou, on utilise la fonction :
  - **int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);**
- Et pour libérer le verrou on utilise :
  - **int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);**
- Ces deux fonctions renvoient 0 si tout se passe bien

Exemple utilisation de verrou

```
pthread_mutex_t verrou= PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
int a=0;

int main(){
  pthread_t th1, th2,th3;
  pthread_create(&th1,NULL,inc,NULL);
  pthread_create(&th2,NULL,dec,NULL);
  pthread_create(&th3,NULL,dec,NULL);
  pthread_join(th1,NULL);
  pthread_join(th2,NULL);
  pthread_join(th3,NULL);
  printf("a vaut %d\n",a);
  return 0;
}

void *inc(void *ptr){
  pthread_mutex_lock(&verrou);
  a=a+1;
  pthread_mutex_unlock(&verrou);
  return NULL;
}

void *dec(void *ptr){
  pthread_mutex_lock(&verrou);
  if(a>0){
    a=a-1;
  }
  pthread_mutex_unlock(&verrou);
  return NULL;
}
```