

# Informations sur le cours PC2R

---

## Site

<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/site-annuel-courant/>

<http://www-apr.lip6.fr/~chailloou/Public/enseignement/2008-2009/pc2r/>

## Equipe pédagogique

- **COURS : Emmanuel Chailloux**
- **TD/TME groupe 1 (vendredi après-midi) :  
Tong Lieu**
- **TD/TME groupes 2 et 3 (mardi matin) :  
Philippe Trébuchet + Tong Lieu**
  - TME dédoublés pour le groupe 2

# Logiciels du cours

---

Installation dans :

`/users/Enseignants/chaillo/usr/local/`

- O'Caml 3-08 (préinstallé)
- Java 1.5 (préinstallé)
- GCC 4.0 (préinstallé)
- FTthread pour C
- Esterel

Sources dans

`/users/Enseignants/chaillo/install`

# Rappel du cours 1

---

- parallélisme : perte du déterminisme
  - Modèles de parallélisme
    - mémoire partagée :  
synchronisation explicite/communication implicite
    - mémoire répartie :  
synchronisation implicite/communication explicite
- ⇒ dualité des deux modèles

# Cours 2 : Threads équitables

---

1. Généralités : coopération *vs* préemption
2. Api Fairthreads en C : scheduler et threads
3. Implantation
4. Événements
5. Automates

# Fair Threads

---

- Frédéric Boussinot
- projet MIMOSA EMP-CMA / Inria Sophia Antipolis sur la programmation réactive :

`http://www-sop.inria.fr/mimosa/rp`

- Fair Threads :

`http://www-sop.inria.fr/mimosa/rp/FairThreads/`

# Modèle coopératif et préemptif

---

- ordonnanceur (*scheduler*) : serveur de synchronisation
- 2 types de threads
  - threads liés à un ordonnanceur (modèle coopératif)
  - threads non liés (modèle préemptif)

# Caractéristiques

---

- multiprocesseurs : schedulers et threads non liés;
- déterministe : si tous les threads sont liés à un seul scheduler;
- I/O bloquantes : implantées par threads non liés;

# Caractéristiques (suite)

---

- *instant* : partagé par tous les threads d'un scheduler; synchronisation automatique à la fin de chaque instant
- *événement* : diffusion instantanée à tous les threads liés à un même scheduler; permet la synchronisation et la communication
- *automate* : pour les petits threads de courte vie; implantation légère



# Schedulers

---

- serveur de synchronisation (instants)
- serveur de communication (événements)
- serveur d'exécution (automates)

# Ordonnancement coopératif

---

Durant un instant :

- exécution de chaque thread jusqu'au prochain point de coopération :

Un thread rend la main au scheduler à un point de coopération :

- explicite : fonction `cooperate`
- implicite : attente d'un événement
- pas de priorité entre threads d'un même scheduler

# Ordonnancement préemptif

---

- modèle à mémoire partagée
- perte du déterminisme
- mutuelle exclusion (Mutex)
- attente sur condition (Condition)

prochain cours : Thread en O'CamI

# Automates

---

petit thread ne nécessitant pas une pile propre  
contient une liste d'états (code séquentiel)

- s'exécute dans le thread du scheduler
- effectue un changement d'état en un instant
- passage d'un état à un autre :
  - explicite : saut à un état particulier
  - implicite : passage à l'état suivant
- fin de l'automate, à la fin du dernier état
- peut communiquer par événement (état particulier)

# Événements

---

- création et diffusion d'un événement à tous les threads
- attente d'un événement à un instant ou au plus sur  $n$  instants
- association d'une valeur à un événement pour un instant et récupération de celle-ci
- sélection sur un tableau d'événements

# Implantation des Fair Threads

---

- en C :

<http://www-sop.inria.fr/mimoso/rp/FairThreads/FTC/index.html>

- en Java :

<http://www-sop.inria.fr/mimoso/rp/FairThreads/FTJava/index.html>

- en Scheme :

<http://www-sop.inria.fr/mimoso/fp/Bigloo/doc/bigloo-8.html>

- en O'Caml (prototype 1) :

<http://www-apr.lip6.fr/~chailou/Public/Dev/HirondML/>

# Bibliothèque C : scheduler

---

```
#include <pthread.h>
```

- **type** `ft_scheduler_t`

- **création** : `ft_scheduler_t ft_scheduler_create (void)`

retourne `NULL` si échec de la création

- **démarrage** : `int ft_scheduler_start (ft_scheduler_t sched)`

code retour 0 ou un code d'erreur  $\neq 0$  (`BAD_CREATE`)

# Bibliothèque C : scheduler (suite)

---

Contrôle des threads :

- `int ft_scheduler_stop (ft_thread_t th)`  
force l'arrêt du thread `th`
- `int ft_scheduler_suspend (ft_thread_t th)`  
suspend l'exécution du thread `th` au prochain instant
- `int ft_scheduler_resume (ft_thread_t th)`  
reprend l'exécution du thread `th` au prochain instant

La suspension est prioritaire à la reprise.



# Bibliothèque C : thread

---

- `type` `ft_thread_t`

- `ft_thread_t` `ft_thread_create` (`ft_scheduler_t` `sched`,  
`void (*runnable)(void*)`, `void (*cleanup)(void*)`, `void *args`) où

- `sched` : scheduler

- `runnable` : fonction de calcul du thread

- `cleanup` : fonction de nettoyage

- `args` : argument des 2 fonctions

# Bibliothèque C : thread (suite)

---

Fin d'un thread :

- fin du calcul de la fonction associée
- appel à `void ft_exit (void)`
- appel à `int ft_scheduler_stop (ft_thread_t th)`

Quand un thread termine la fonction `cleanup` est appelée à l'instant suivant

# Bibliothèque C : thread (fin)

---

Attente de fin d'un thread :

- `int ft_thread_join (ft_thread_t th)`

attente de la fin du thread `th`

- `int ft_thread_join_n (ft_thread_t th, int n)`

attente sur au plus  $n$  instants

# Coopération

---

- `int ft_thread_cooperate (void)`

retourne le contrôle au scheduler

- `int ft_thread_cooperate_n (int n)`

redonne le contrôle pour  $n$  instants

Equivalent à :

```
for (i=0;i<k;i++) ft_thread_cooperate ()
```

# Un premier exemple : Hello World (1)

---

```
#include "pthread.h"
#include "stdio.h"

void h (void *id)
{
    while (1) {
        fprintf (stderr, "Hello ");
        ft_thread_cooperate ();
    }
}

void w (void *id)
{
    while (1) {
        fprintf (stderr, "World!\n");
        ft_thread_cooperate ();
    }
}
```

# Un premier exemple : Hello World (2)

---

```
int main(void)
{
    ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
    ft_thread_create (sched,h,NULL,NULL);
    ft_thread_create (sched,w,NULL,NULL);
    ft_scheduler_start (sched);

    ft_exit ();
    return 0;
}
```

# Le même en non-déterministe

---

```
int main (void)
{ ft_scheduler_t sched1 = ft_scheduler_create ();
  ft_scheduler_t sched2 = ft_scheduler_create ();

  ft_thread_create (sched1,h,NULL,NULL);
  ft_thread_create (sched2,w,NULL,NULL);

  ft_scheduler_start (sched1);
  ft_scheduler_start (sched2);

  ft_exit ();
  return 0;
}
```

# Liaison des threads

---

- `int ft_thread_unlink (void);`  
délié le thread de son scheduler
- `int ft_thread_link (ft_scheduler_t sched);`  
relie un thread auprès du scheduler `sched`

permet de changer de scheduler.



# Lecture non bloquante (1)

---

```
gcc -Wall -O3 -D_REENTRANT -I ../include -L../lib \  
  nbread.c -lfthread -lpthread  
  
#include "fthread.h"  
#include <stdio.h>  
#include <unistd.h>  
#include <stdlib.h>  
  
/*****/  
ssize_t ft_thread_read (int fd, void *buf, size_t count)  
{  
    ft_scheduler_t sched = ft_thread_scheduler ();  
    ssize_t res;  
  
    ft_thread_unlink ();  
    res = read (fd, buf, count);  
    ft_thread_link (sched);  
    return res;  
}
```

# Lecture non bloquante (2)

---

```
/*  
void reading_behav (void* args)  
{  
    int max = (int)args;  
    char *buf = (char*)malloc (max+1);  
    ssize_t res;  
    fprintf (stderr, "enter %d characters:\n", max);  
  
    res = ft_thread_read (0, buf, max);  
  
    if (-1 == res) fprintf (stderr, "error\n");  
    buf[res] = 0;  
    fprintf (stderr, "read %d: <%s>\n", res, buf);  
    exit (0);  
}
```

# Lecture non bloquante (3)

---

```
int main (void)
{
    ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
    ft_thread_create (sched,reading_behav,NULL,(void*)5);
    ft_scheduler_start (sched);
    ft_exit();
    return 0;
}
```

# Implantation

---

- Utilise les threads POSIX (man pthread)
- environ 1800 lignes de C

# Implantation (suite)

---

```
struct ft_scheduler_t
{
    ft_thread_t          self;
    thread_list_t       thread_table;
    thread_list_t       to_run;
    thread_list_t       to_stop;
    thread_list_t       to_suspend;
    thread_list_t       to_resume;
    thread_list_t       to_unlink;
    broadcast_list_t    to_broadcast;
    pthread_mutex_t     sleeping;
    pthread_cond_t      awake;
    ft_environment_t    environment;
    int                 well_created; };
```

# Implantation (suite)

---

```
struct ft_thread_t {
    pthread_t          pthread;
    int                well_created;
    pthread_mutex_t    lock;
    pthread_cond_t     token;
    int                has_token;

    ft_executable_t    cleanup;
    ft_executable_t    run;
    void               *args;

    ft_scheduler_t     scheduler;
...};
```

# Implantation (suite)

---

```
static void _fire_all_threads (ft_scheduler_t sched)
{
    FOR_ALL_THREADS
    if (_is_fireable (thread)){
        if (!_is_automaton (thread)) {
            _transmit_token (sched->self,thread);
        } else {
            _run_as_automaton (thread);
        }
    }
    END_FOR_ALL
}
```

# Événements

---

- type `ft_event_t`
- création : `ft_event_t ft_event_create (ft_scheduler_t sched);`

A l'instant courant :

- génération : `int ft_thread_generate (ft_event_t evt);`  
engendre l'événement `evt` pour l'instant courant; il aura disparu à l'instant suivant
- `int ft_thread_generate_value (ft_event_t evt, void *val);`  
associe une valeur `val` à la génération de l'événement



# Evénements (suite)

---

A l'instant suivant

- `int ft_scheduler_broadcast (ft_event_t evt);`  
l'événement `evt` sera engendré au prochain instant
- `int ft_scheduler_broadcast_value (ft_event_t evt, void *val);`  
`val` est associée à `evt`

# Attente d'un événement

---

## ● attente

- `int ft_thread_await (ft_event_t evt);`

suspend l'exécution du thread jusqu'à la génération d'`evt`

- `int ft_thread_await_n (ft_event_t evt, int n);`

l'attente dure au plus  $n$  instants.

## ● récupération d'une valeur :

- `ft_thread_get_value(ft_event e, int num, void **result)`

récupère la  $i$ -ième valeur associée à l'événement  $e$  :

- si elle existe, la valeur est rangée dans `result`, l'appel termine immédiatement
- sinon, la fonction retourne `NULL` à l'instant suivant

# Attente sur tableau d'événements

---

permet l'attente sur plusieurs événements.

Le tableau d'événements `array` et le tableau `mask` sont de longueur *len*.

- `int ft_thread_select(int len, ft_event_t *array, int *mask)`  
suspend l'exécution du thread jusqu'à la génération d'au moins un événement du tableau `array`; le tableau `mask` indique quels sont les événements engendrés.

- `int ft_thread_select_n (int len, ft_event_t *array,  
int *mask, int timeout);`

Attente au plus *timeout* instants

# Exemple avec événements (1)

---

```
#include "ftthread.h"
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

ft_event_t e1, e2;

void behav1 (void *args)
{
    ft_thread_generate (e1);
    fprintf (stdout, "broadcast e1\n");

    fprintf (stdout, "wait e2\n");
    ft_thread_await (e2);
    fprintf (stdout, "receive e2\n");

    fprintf (stdout, "end of behav1\n");
}
```

# Exemple avec événements (2)

---

```
void behav2 (void *args)
{
    fprintf (stdout, "wait e1\n");
    ft_thread_await (e1);
    fprintf (stdout, "receive e1\n");

    ft_thread_generate (e2);
    fprintf (stdout, "broadcast e2\n");

    fprintf (stdout, "end of behav2\n");
}
```

# Exemple avec événements (3)

---

```
int main(void)
{
    int c, *cell = &c;
    ft_thread_t th1, th2;
    ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();

    e1 = ft_event_create (sched);
    e2 = ft_event_create (sched);

    th1 = ft_thread_create (sched,behav1,NULL,NULL);
    th2 = ft_thread_create (sched,behav2,NULL,NULL);

    ft_scheduler_start (sched);

    pthread_join (ft_pthread (th1),(void**)&cell);
    pthread_join (ft_pthread (th2),(void**)&cell);
    fprintf (stdout,"exit\n");
    exit (0);
}
```

# Exemple avec événements (4)

---

```
/*  
broadcast e1  
wait e2  
wait e1  
receive e1  
broadcast e2  
end of behav2  
receive e2  
end of behav1  
exit  
*/
```

# Tableau d'événements (1)

---

```
/* use of select to await 2 events */

ft_event_t  a,b;

void awaiter (void *args)
{
    ft_event_t events [2] = {a,b};
    int        result [2] = {0,0};

    ft_thread_select (2,events,result);
    fprintf (stdout, "result: [%d,%d] ",result[0],result[1]);
    if (result[0] == 0 || result[1] == 0) {
        ft_thread_await (result[0]==0 ? events[0] : events[1]);
    }

    fprintf (stdout, "both received! ");
    ft_thread_cooperate ();
    fprintf (stdout, "exit!\n");
    exit (0);
}
```

---



# Tableau d'événements (2)

---

```
void trace_instant (void *args)
{
    int i = 1;
    while (1) {
        fprintf (stdout, "\ninstant %d: ", i);
        i++;
        ft_thread_cooperate ();
    }
}
```

# Tableau d'événements (3)

---

```
void agenerator (void *args)
{
    ft_thread_cooperate_n (3);
    fprintf (stdout, "event a generated! ");
    ft_thread_generate (a);
}
```

```
void bgenerator (void *args)
{
    ft_thread_cooperate_n (3);
    fprintf (stdout, "event b generated! ");
    ft_thread_generate (b);
}
```

# Tableau d'événements (4)

---

```
int main (void)
{
    ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();

    a = ft_event_create (sched);
    b = ft_event_create (sched);
    ft_thread_create (sched, trace_instant, NULL, NULL);

    ft_thread_create (sched, agenerator, NULL, NULL);
    ft_thread_create (sched, awaiter, NULL, NULL);
    ft_thread_create (sched, bgenerator, NULL, NULL);

    ft_scheduler_start (sched);

    ft_exit ();
    return 0;
}
```

# Tableau d'événements (5)

---

```
/* result  
  
instant 1:  
instant 2:  
instant 3:  
instant 4: event a generated! result: [1,0] event b generated! both received!  
instant 5: exit!  
end result */
```

# Automates

---

Ensemble de macros permettant de décrire les états d'un automate et les attentes sur événements.

Création :

```
ft_thread_t ft_automaton_create (ft_scheduler_t sched,  
                                ft_automaton_t automaton,  
                                ft_executable_t cleanup,  
                                void *args)
```

# attente sur événement avec automate

---

```
#include "pthread.h"
#include <stdio.h>

/* simultaneous events */

ft_event_t event1,event2;

DEFINE_AUTOMATON (autom)
{
    BEGIN_AUTOMATON
        STATE_AWAIT (0,event1);
        STATE_AWAIT (1,event2)
        {
            fprintf (stdout, "both events are received! ");
        }
    END_AUTOMATON
}
```

# attente sur événement avec automate

---

```
void generator (void *args)
{
    ft_thread_cooperate_n (4);
    fprintf (stdout, "event1 generated! ");
    ft_thread_generate (event1);

    ft_thread_cooperate_n (4);
    fprintf (stdout, "event1 and event2 are generated! ");
    ft_thread_generate (event1);
    ft_thread_generate (event2);

    ft_thread_cooperate ();
    fprintf (stdout, "exit\n");
    exit (0);
}
```

# attente sur événement avec automate

---

```
void traceInstants (void *args)
{
    int i = 0;
    for (i=0;i<10;i++) {
        fprintf(stdout, "\n>>>>>>>>>> instant %d: ", i);
        ft_thread_cooperate ();
    }
    fprintf (stdout, "exit!\n");
    exit (0);
}
```



# attente sur événement avec automate

---

```
int main ()
{
    ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();

    event1 = ft_event_create (sched);
    event2 = ft_event_create (sched);

    ft_thread_create (sched,traceInstants,NULL,NULL);

    if (NULL == ft_automaton_create (sched,autom,NULL,NULL)) {
        fprintf (stdout, "cannot create automaton!!!\n");
    }
    ft_thread_create (sched,generator,NULL,NULL);

    ft_scheduler_start (sched);

    ft_exit ();
    return 0;
}
```

# attente sur événement avec automate

---

```
/* result

>>>>>>>>> instant 0:
>>>>>>>>> instant 1:
>>>>>>>>> instant 2:
>>>>>>>>> instant 3:
>>>>>>>>> instant 4: event1 generated!
>>>>>>>>> instant 5:
>>>>>>>>> instant 6:
>>>>>>>>> instant 7:
>>>>>>>>> instant 8: event1 and event2 are generated! both events are received
>>>>>>>>> instant 9: exit

end result */
```

# API FT pour O'Caml

---

- TER (en 2004/2005), puis projet de migration de threads
  - Hiron dML :  
`http://www.pps.jussieu.fr/~{ }emmanuel/Public/Dev/Hiron dML/`
  - sémantique différente sur :
    - l'envoi/réception d'événements
    - pas de préemptif (sauf thread Caml)
    - mais bibliothèque spéciale pour les I/O
- Master STL (2006/2007) :
  - Hiron dML 2: respect de la sémantique des FT

# Une implémentation pour OCaml

---

- Première implémentation : Une surcouche des threads OCaml
  - Un scheduler est un jeton
  - Synchronisation à base de conditions
  - Détachement de fair thread « facile »
- Les problèmes
  - Implémentation simple mais peu efficace
  - Surcouche des threads OCaml pour l'implémentation des threads détachés

les threads détachés sont surtout utilisés pour des IO bloquantes

# Idée : une séparation des tâches

---

- Une librairie pour effectuer des actions bloquantes
- Simuler la concurrence des schedulers
- Nouvelle donne
  - La réactivité d'un scheduler n'est plus assurée, mais on peut mesurer les schedulers « trop lent » facilement par une trace
  - On perd la couche POSIX

C'est l'implémentation actuelle.

# FT : Exemple1

---

```
let sched=Fthread.create_scheduler();;

let rec fth x=
  Printf.printf "je suis le ft %d\n" x;
  Fthread.cooperate();
  fth x
;;

Fthread.create sched fth 1;
Fthread.create sched fth 2;
Fthread.start_scheduler sched;
Fthread.exit();;

(* affichage de fth 1 | fth2 ----> *)
(* je suis le ft 1
   je suis le ft 2
   je suis le ft 1
   ... *)
```

# FT : Compilation exemple 1

---

## sur ari-31-312-01

```
$ ocamlc -c -I ../lib exfthread.ml
$ ocamlc -I ../lib unix.cmxa fthread.cmxa \
  exfthread.cmx -o exfthread.exe
$ ./exfthread.exe
je suis le ft 1
je suis le ft 2
je suis le ft 1
je suis le ft 2
je suis le ft 1
je suis le ft 2
...
```

où ../lib correspond à :

```
/users/Enseignants/chaillou/install/migrate-0.3/lib
```

# FT : Exemple 2 (1)

---

```
let table1=Fthread.create_scheduler();;
let table2=Fthread.create_scheduler();;
let finale=Fthread.create_scheduler();;

let nbr_vainqueur=ref 0;;
let finale_commencee=ref false;;
let passe=Fthread.create_event();;
...
for i=1 to 4 do
  Fthread.create table1 joueur (i,[1;0;2;4;0;3]);
  Fthread.create table2 joueur ((i+5),[2;1;0;4;3])
done;

Fthread.create table1 joueur (5,[1;2;8;4;4;3;2;8]);
Fthread.create table2 joueur (10,[1;8;3;3;2;8]);
Fthread.start_scheduler table1;
Fthread.start_scheduler table2;
Fthread.exit();;
```



# FT : Exemple 2 (2)

---

```
let rec joueur (id,cartes)=
  match cartes with
  | c :: rc ->
    if c=0 then (... Fthread.awaitn 1 passe; joueur (id,rc))
    else if c>7 then (... incr nbr_vainqueur; Fthread.link_to finale;
                       joueur (id, rc))
    else (... Fthread.cooperate(); joueur (id,rc))
  | _ -> (... if !nbr_vainqueur = 2 then (
            nbr_vainqueur:=0; Fthread.start_scheduler finale)
```

# Bibliographie

---

- Boussinot, F. – Java Fair Threads – Inria research report, RR-4139, 2001.
- Boussinot, F. – FairThreads: mixing cooperative and preemptive threads in C – Inria research report, RR-5039, December, 2003.
- Serrano, M. et Boussinot, F. et Serpette, B. – Scheme Fair Threads – 6th sigplan International Conference on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP), Verona, Italy, Aug, 2004, pp. 203–214.
- Chailloux, E. et Ravet, V. et Verlaguet, J. — HironML: Fair Threads Migrations for Objective Caml — Parallel Processing Letters, volume=18-1, 2008.