

# Programmation Concurrente, Réactive et Répartie

## Cours N°2

Emmanuel Chailloux

Master d'Informatique  
Université Pierre et Marie Curie

année 2015-2016

# 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
  - ▶ Implantation
  - ▶ Evénements
  - ▶ 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;
  
- ▶ *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 OCaml et en Java

# 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)

# Evénements

- ▶ 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:](http://www-sop.inria.fr/mimoso/fp/Bigloo/doc/bigloo-8.html)

[//www-sop.inria.fr/mimoso/fp/Bigloo/doc/bigloo-8.html](http://www-sop.inria.fr/mimoso/fp/Bigloo/doc/bigloo-8.html)

- ▶ en OCaml (prototype 1) :

[http://www.algo-prog.info/hirondml/files/ocaml\\_fthreads.tar.gz](http://www.algo-prog.info/hirondml/files/ocaml_fthreads.tar.gz)

et sa documentation <http://www.algo-prog.info/hirondml/doc/fthread/html/Fthread.html>

## 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 (1)

## ▶ type ft\_thread\_t

```
▶  
1 ft_thread_t ft_thread_create (  
2     ft_scheduler_t sched,  
3     void (*runnable)(void*),  
4     void (*cleanup)(void*),  
5     void *args  
6 )
```

où

- ▶ sched : scheduler
- ▶ runnable : fonction de calcul du thread
- ▶ cleanup : fonction de nettoyage
- ▶ args : argument des 2 fonctions

## Bibliothèque C : thread (2)

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

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 :

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

# Un premier exemple : Hello World (1)

```
1 #include "pthread.h"
2 #include "stdio.h"
3
4 void h (void *id) {
5     while (1) {
6         fprintf (stderr,"Hello ");
7         ft_thread_cooperate ();
8     }
9 }
10
11 void w (void *id) {
12     while (1) {
13         fprintf (stderr,"World!\n");
14         ft_thread_cooperate ();
15     }
16 }
```

## Un premier exemple : Hello World (2)

```
1
2 int main(void) {
3
4     ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
5     ft_thread_create (sched,h,NULL,NULL);
6     ft_thread_create (sched,w,NULL,NULL);
7     ft_scheduler_start (sched);
8
9     ft_exit ();
10    return 0;
11 }
```

# Le même en non-déterministe

```
1  int main (void) {
2
3     ft_scheduler_t sched1 = ft_scheduler_create ();
4     ft_scheduler_t sched2 = ft_scheduler_create ();
5
6     ft_thread_create (sched1,h,NULL,NULL);
7     ft_thread_create (sched2,w,NULL,NULL);
8
9     ft_scheduler_start (sched1);
10    ft_scheduler_start (sched2);
11
12    ft_exit ();
13    return 0;
14 }
```

## 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)

```
1 gcc -Wall -O3 -D_REENTRANT -I ../include -L../lib \  
2 nbread.c -lfthread -lpthread
```

```
1 #include "fthread.h"  
2 #include <stdio.h>  
3 #include <unistd.h>  
4 #include <stdlib.h>  
5  
6 /*****  
7 ssize_t ft_thread_read (int fd, void *buf, size_t count) {  
8  
9     ft_scheduler_t sched = ft_thread_scheduler ();  
10    ssize_t res;  
11  
12    ft_thread_unlink ();  
13    res = read (fd, buf, count);  
14    ft_thread_link (sched);  
15    return res;  
16 }
```

## Lecture non bloquante (2)

```
1
2  /*****
3  void reading_behav (void* args) {
4      int max = (int)args;
5      char *buf = (char*)malloc (max+1);
6      ssize_t res;
7      fprintf (stderr,"enter %d characters:\n",max);
8
9      res = ft_thread_read (0,buf,max);
10
11     if (-1 == res) fprintf (stderr,"error\n");
12     buf[res] = 0;
13     fprintf (stderr,"read %d: <%s>\n",res,buf);
14     exit (0);
15 }
```

## Lecture non bloquante (3)

```
1 int main (void) {
2     ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
3     ft_thread_create (sched,reading_behav,NULL,(void*)5);
4     ft_scheduler_start (sched);
5     ft_exit();
6     return 0;
7 }
```

# Implantation

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

## Implantation (suite)

```
1  struct ft_scheduler_t {
2      ft_thread_t          self;
3      thread_list_t       thread_table;
4      thread_list_t       to_run;
5      thread_list_t       to_stop;
6      thread_list_t       to_suspend;
7      thread_list_t       to_resume;
8      thread_list_t       to_unlink;
9      broadcast_list_t     to_broadcast;
10     pthread_mutex_t      sleeping;
11     pthread_cond_t       awake;
12     ft_environment_t     environment;
13     int                   well_created;
14 };
```

## Implantation (suite)

```
1  struct ft_thread_t {
2      pthread_t          pthread;
3      int                well_created;
4      pthread_mutex_t   lock;
5      pthread_cond_t    token;
6      int                has_token;
7
8      ft_executable_t   cleanup;
9      ft_executable_t   run;
10     void                *args;
11
12     ft_scheduler_t     scheduler;
13     ...};
```

## Implantation (suite)

```
1  static void _fire_all_threads (ft_scheduler_t sched) {
2
3      FOR_ALL_THREADS
4      if (_is_fireable (thread)){
5          if (!_is_automaton (thread)) {
6              _transmit_token (sched->self,thread);
7          } else {
8              _run_as_automaton (thread);
9          }
10     }
11     END_FOR_ALL
12 }
```

# Evénements

- ▶ 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)

```
1  #include "ftthread.h"
2  #include <stdio.h>
3  #include <unistd.h>
4
5  ft_event_t e1, e2;
6
7  void behav1 (void *args) {
8
9      ft_thread_generate (e1);
10     fprintf (stdout, "broadcast e1\n");
11
12     fprintf (stdout, "wait e2\n");
13     ft_thread_await (e2);
14     fprintf (stdout, "receive e2\n");
15
16     fprintf (stdout, "end of behav1\n");
17 }
```

## Exemple avec événements (2)

```
1
2 void behav2 (void *args) {
3
4     fprintf (stdout, "wait e1\n");
5     ft_thread_await (e1);
6     fprintf (stdout, "receive e1\n");
7
8     ft_thread_generate (e2);
9     fprintf (stdout, "broadcast e2\n");
10
11    fprintf (stdout, "end of behav2\n");
12 }
```

## Exemple avec événements (3)

```
1  int main(void) {
2
3      int c, *cell = &c;
4      ft_thread_t th1, th2;
5      ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
6
7      e1 = ft_event_create (sched);
8      e2 = ft_event_create (sched);
9
10     th1 = ft_thread_create (sched,behav1,NULL,NULL);
11     th2 = ft_thread_create (sched,behav2,NULL,NULL);
12
13     ft_scheduler_start (sched);
14
15     pthread_join (ft_pthread (th1),(void*)&cell);
16     pthread_join (ft_pthread (th2),(void*)&cell);
17     fprintf (stdout,"exit\n");
18     exit (0);
19 }
```

## Exemple avec événements (4)

```
1  /*
2  broadcast e1
3  wait e2
4  wait e1
5  receive e1
6  broadcast e2
7  end of behav2
8  receive e2
9  end of behav1
10 exit
11 */
```

# Tableau d'événements (1)

```
1  #include "pthread.h"
2  #include "stdio.h"
3
4  /* use of select to await 2 events */
5
6  ft_event_t  a,b;
7
8  void awaiter (void *args) {
9
10     ft_event_t events [2] = {a,b};
11     int        result [2] = {0,0};
12
13     ft_thread_select (2,events,result);
14     fprintf (stdout, "result: [%d,%d] ",result[0],result[1]);
15     if (result[0] == 0 || result[1] == 0) {
16         ft_thread_await (result[0]==0 ? events[0] : events[1]);
17     }
18
19     fprintf (stdout, "both received! ");
20     ft_thread_cooperate ();
21     fprintf (stdout, "exit!\n");
22     exit (0);
23 }
```

## Tableau d'événements (2)

```
1
2 void trace_instant (void *args)
3 {
4     int i = 1;
5     while (1) {
6         fprintf (stdout, "\ninstant %d: ",i);
7         i++;
8         ft_thread_cooperate ();
9     }
10 }
```

## Tableau d'événements (3)

```
1
2 void agenerator (void *args)
3 {
4     ft_thread_cooperate_n (3);
5     fprintf (stdout, "event a generated! ");
6     ft_thread_generate (a);
7 }
8
9 void bgenerator (void *args)
10 {
11     ft_thread_cooperate_n (3);
12     fprintf (stdout, "event b generated! ");
13     ft_thread_generate (b);
14 }
```

## Tableau d'événements (4)

```
1
2 int main (void)
3 {
4     ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
5
6     a = ft_event_create (sched);
7     b = ft_event_create (sched);
8     ft_thread_create (sched, trace_instant, NULL, NULL);
9
10    ft_thread_create (sched, agenerator, NULL, NULL);
11    ft_thread_create (sched, awaiter, NULL, NULL);
12    ft_thread_create (sched, bgenerator, NULL, NULL);
13
14    ft_scheduler_start (sched);
15
16    ft_exit ();
17    return 0;
18 }
```

## Tableau d'événements (5)

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

# Automates

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

Création :

```
1 ft_thread_t ft_automaton_create (ft_scheduler_t sched,  
2                               ft_automaton_t automaton,  
3                               ft_executable_t cleanup,  
4                               void *args)
```

## attente sur événement avec automate (1)

```
1  #include "fthread.h"
2  #include <stdio.h>
3
4  /* simultaneous events */
5
6  ft_event_t event1,event2;
7
8  DEFINE_AUTOMATON (autom)
9  {
10     BEGIN_AUTOMATON
11         STATE_AWAIT (0,event1);
12         STATE_AWAIT (1,event2)
13         {
14             fprintf (stdout, "both events are received! ");
15         }
16     END_AUTOMATON
17 }
```

## attente sur événement avec automate (2)

```
1  /*****  
2  void generator (void *args)  
3  {  
4      ft_thread_cooperate_n (4);  
5      fprintf (stdout, "event1 generated! ");  
6      ft_thread_generate (event1);  
7  
8      ft_thread_cooperate_n (4);  
9      fprintf (stdout, "event1 and event2 are generated! ");  
10     ft_thread_generate (event1);  
11     ft_thread_generate (event2);  
12  
13     ft_thread_cooperate ();  
14     fprintf (stdout, "exit\n");  
15     exit (0);  
16 }
```



## attente sur événement avec automate (4)

```
1  int main ()
2  {
3      ft_scheduler_t sched = ft_scheduler_create ();
4
5      event1 = ft_event_create (sched);
6      event2 = ft_event_create (sched);
7
8      ft_thread_create (sched,traceInstants,NULL,NULL);
9
10     if (NULL == ft_automaton_create (sched,autom,NULL,NULL)) {
11         fprintf (stdout, "cannot create automaton!!!\n");
12     }
13     ft_thread_create (sched,generator,NULL,NULL);
14
15     ft_scheduler_start (sched);
16
17     ft_exit ();
18     return 0;
19 }
```

## attente sur événement avec automate (5)

```
1
2 /* result
3
4 >>>>>>>>> instant 0:
5 >>>>>>>>> instant 1:
6 >>>>>>>>> instant 2:
7 >>>>>>>>> instant 3:
8 >>>>>>>>> instant 4: event1 generated!
9 >>>>>>>>> instant 5:
10 >>>>>>>>> instant 6:
11 >>>>>>>>> instant 7:
12 >>>>>>>>> instant 8: event1 and event2 are generated! both events are ↔
    received!
13 >>>>>>>>> instant 9: exit
14 end result */
```

# API FT pour OCaml

- ▶ TER puis projet migration de threads
  - ▶ HironML :  
<http://www-apr.lip6.fr/~chaillou/Public/Dev/HironML/>
  - ▶ sémantique différente sur :
    - ▶ l'envoi/réception d'événements
    - ▶ pas de préemptif (sauf thread Caml)
    - ▶ mais bibliothèque spéciale pour les I/O
- ▶ Master STL :
  - ▶ HironML 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 lents » facilement par une trace
  - ▶ On perd la couche POSIX

C'est l'implémentation actuelle.

# FT : Exemple1

```
1  let sched=Fthread.create_scheduler();;
2
3  let rec fth x=
4    Printf.printf "je suis le ft %d\n" x;
5    Fthread.cooperate();
6    fth x
7  ;;
8
9  Fthread.create sched fth 1;
10 Fthread.create sched fth 2;
11 Fthread.start_scheduler sched;
12 Fthread.exit();;
13
14 (* affichage de fth 1 | fth2 ----> *)
15 (* je suis le ft 1
16    je suis le ft 2
17    je suis le ft 1
18    ... *)
```

# FT : Compilation exemple 1

sur ari-31-312-01

```
1 $ ocamlpt -c -I ../lib exfthread.ml
2 $ ocamlpt -I ../lib unix.cmxa fthread.cmxa \
3     exfthread.cmx -o exfthread.exe
4 $ ./exfthread.exe
5 je suis le ft 1
6 je suis le ft 2
7 je suis le ft 1
8 je suis le ft 2
9 je suis le ft 1
10 je suis le ft 2
11 ...
```

où ../lib correspond à :

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

## FT : Exemple 2 (1)

```
1  let table1=Fthread.create_scheduler();;
2  let table2=Fthread.create_scheduler();;
3  let finale=Fthread.create_scheduler();;
4
5  let nbr_vainqueur=ref 0;;
6  let finale_commencee=ref false;;
7  let passe=Fthread.create_event();;
8  ...
9  for i=1 to 4 do
10     Fthread.create table1 joueur (i,[1;0;2;4;0;3]);
11     Fthread.create table2 joueur ((i+5),[2;1;0;4;3])
12 done;
13
14 Fthread.create table1 joueur (5,[1;2;8;4;4;3;2;8]);
15 Fthread.create table2 joueur (10,[1;8;3;3;2;8]);
16 Fthread.start_scheduler table1;
17 Fthread.start_scheduler table2;
18 Fthread.exit();;
```

## FT : Exemple 2 (2)

```
1 let rec joueur (id,cartes)=
2   match cartes with
3     c :: rc ->
4       if c=0 then (... Fthread.awaitn 1 passe; joueur (id,rc))
5       else if c>7 then (... incr nbr_vainqueur; Fthread.link_to finale;
6                           joueur (id, rc))
7       else (... Fthread.cooperate(); joueur (id,rc))
8 | _ -> (... if !nbr_vainqueur = 2 then (
9         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.

# Autres implantations de threads coopératifs

- ▶ Lwt (Ocsigen)
  - ▶ Vouillon. J. — Lwt: a cooperative thread library - ML Workshop, 2008.
  - ▶ Documentation et téléchargement : <http://ocsigen.org/lwt/>
- ▶ Async (JaneStreet)
  - ▶ à télécharger :  
<http://www.janestreet.com/ocaml/async-107.01.tar.gz>