

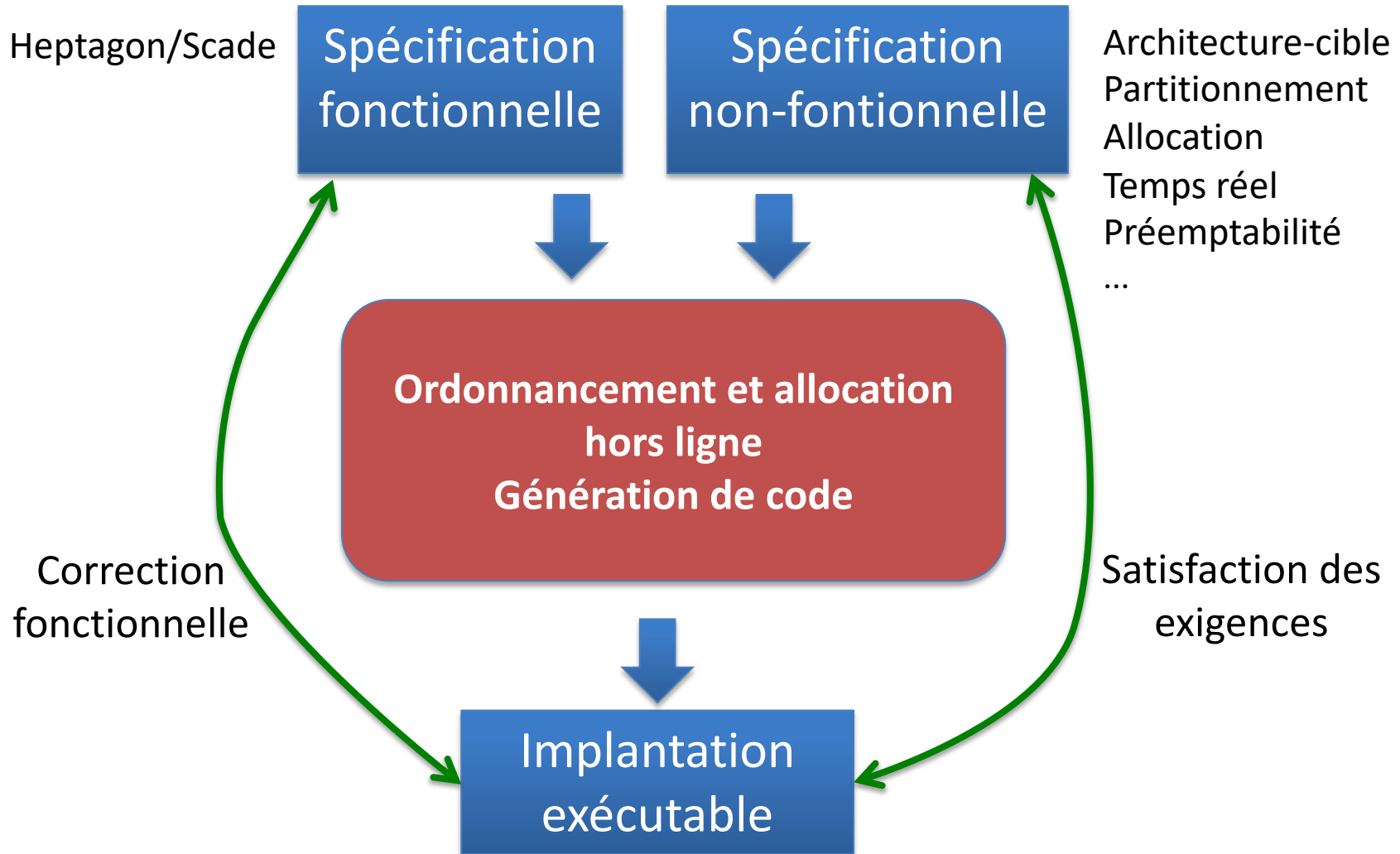
Une approche synchrone à la conception de systèmes embarqués temps réel

Dumitru Potop-Butucaru
dumitru.potop@inria.fr
cours EIDD, 2023, 8^{ème} séance

Contenu du cours

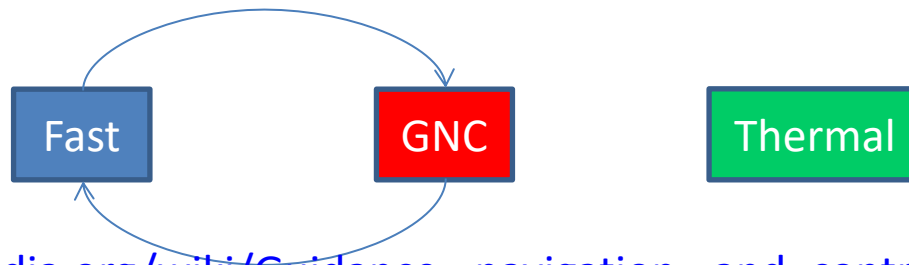
- Implantation manuelle ARINC 653 de spécifications fonctionnelles Heptagon
 - Exemple GNC (du cours 3)
- Peut-on automatiser ?
- Préparation du TP

Peut-on automatiser ?



Retour à GNC (cours 3)

- 3 tâches Fast, GNC, Thermal
 - Fast et GNC communiquent
 - GNC = calculs lourds (lents)
 - Fast = calculs légers à faible latence (capteurs et actionneurs)
 - Thermal = contrôle thermique de la fusée



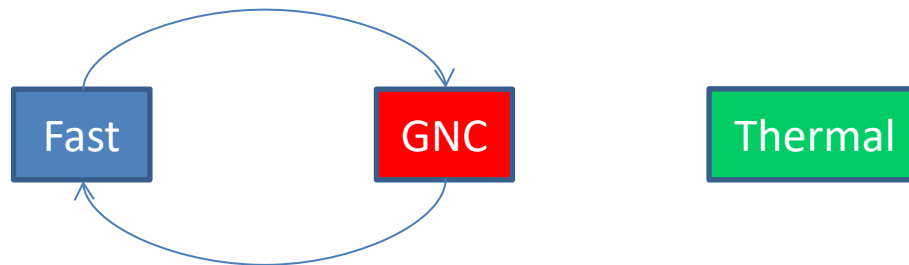
https://en.wikipedia.org/wiki/Guidance,_navigation,_and_control

<http://manuscript.elsevier.com/S0094576515003811/pdf/S0094576515003811.pdf>

https://en.wikipedia.org/wiki/Spacecraft_thermal_control

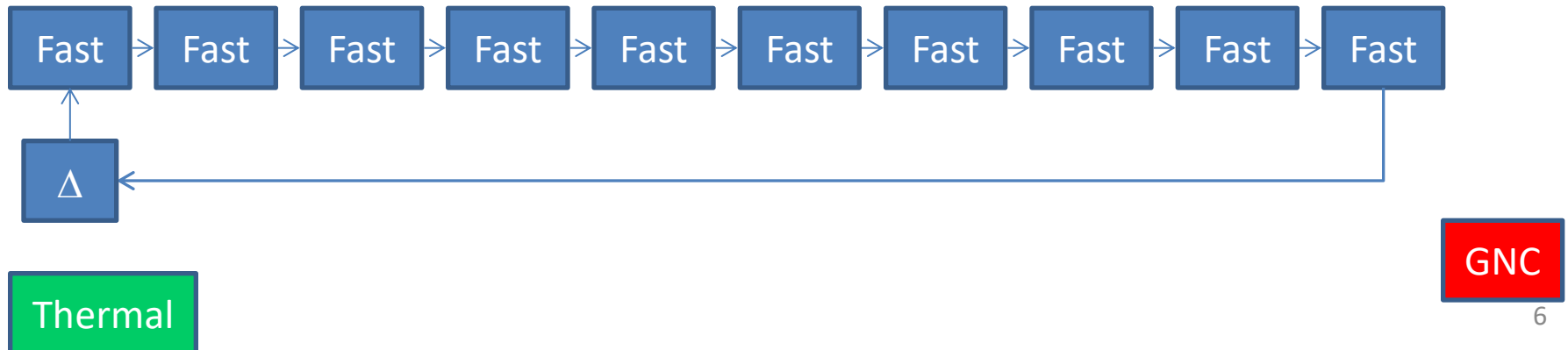
Exemple GNC

- 3 tâches Fast, GNC, Thermal
 - Fast et GNC communiquent
- Perodes (simplifié): 100ms, 1s, 1s



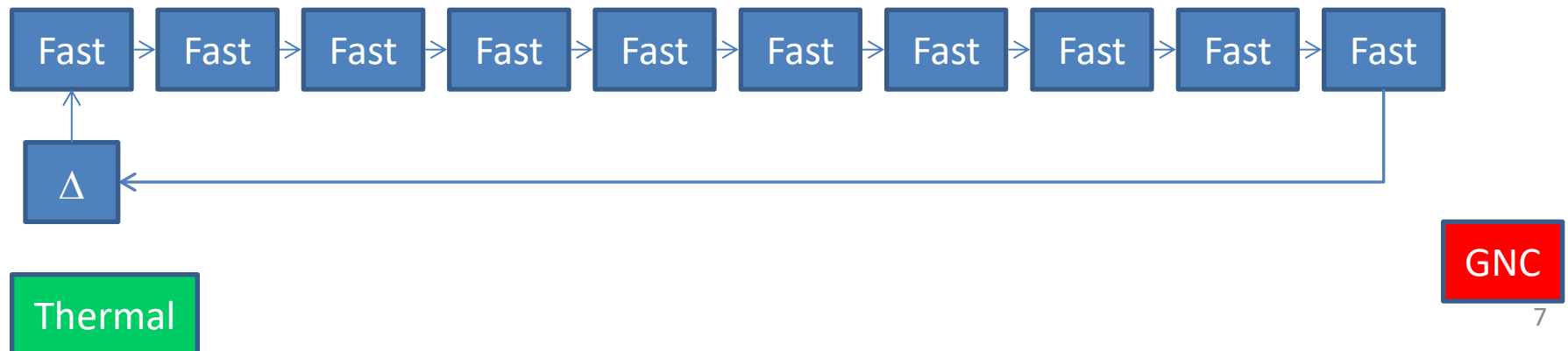
Exemple GNC

- Periodes: 100ms, 1s, 1s
 - Déclenchement déterministe des tâches désiré
 - Hyper-période = PPCM(périodes des tâches) = 1s
 - Chaque seconde : 10 instances de Fast, une de GNC et une de Thermal
 - Ce sera notre cycle de spécification
 - C'est un **choix de conception**



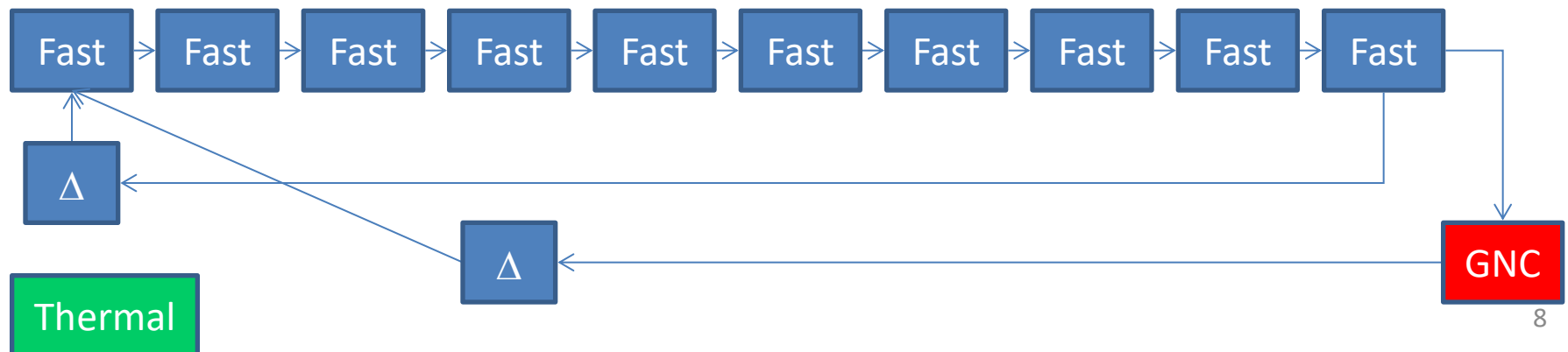
Exemple GNC

- Perodes: 100ms, 1s, 1s
 - Déclenchement déterministe des tâches désiré
 - Hyper-période = PPCM(périodes des tâches)
 - Fast, GNC, Thermal non-synchronisés au niveau de la spécification donnée par l'automaticien
 - Mais: Motif de communication déterministe désiré



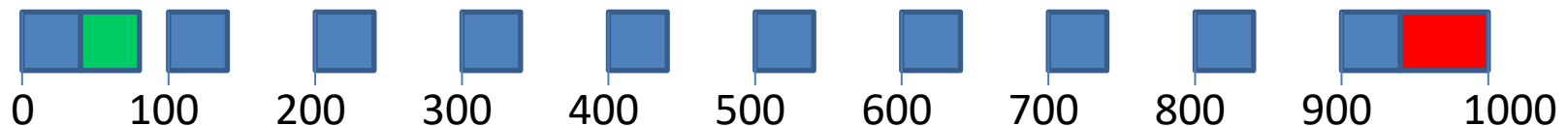
Exemple GNC

- Motif de communication déterministe
 - Artéfact d'implémentation (**choix de conception**)
 - Plusieurs choix possibles
 - Motif de communication sur l'hyper-période
 - Motif qui se répète dans le temps (comme le MTF de ARINC 653)



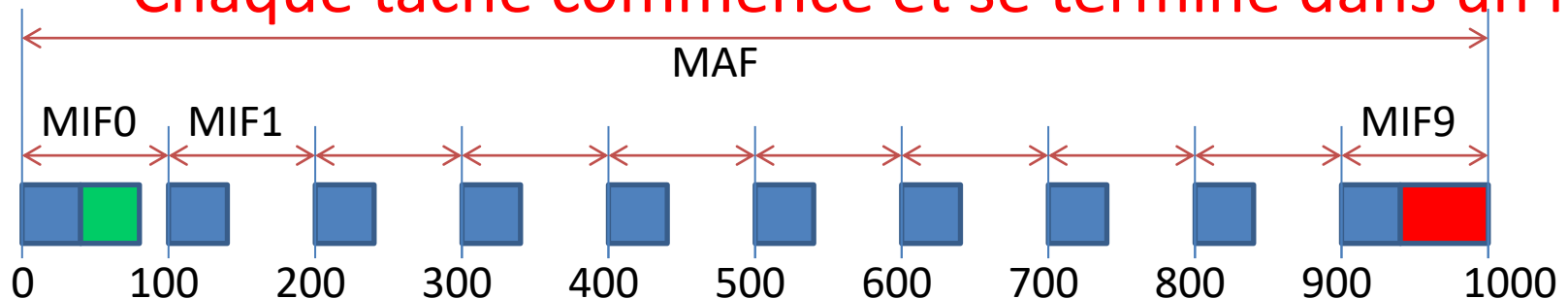
Exemple GNC

- Choix d'implantation classique :
 - Single-core
 - Ordonnancement temps réel "time-triggered"
 - Hypothèse : WCETs: 40ms, 60ms et 40ms
 - Déclenchements sur barrière de 100ms (timer)



Exemple GNC

- Sous-cas : MIF/MAF
 - Major Frame (MAF) = hyper-période
 - Minor Frame (MIF) = période la plus courte
 - Déclenchement périodique en début de MIF
 - Chaque tâche commence et se termine dans un MIF



Approche 2: implantation ARINC 653

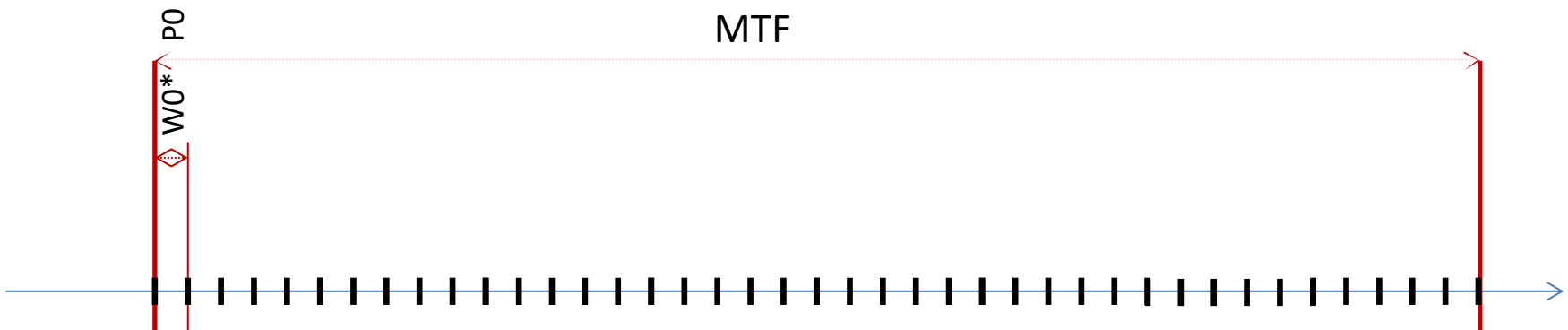
- Exigences non-fonctionnelles :
 - Traçabilité:
 - Impression par debug_print des entrées et des sorties de GNC et de Thermal (**pas de Fast**)
 - Partitionnement
 - Trois partitions distinctes fast, gnc, et thermal
 - Période = 1s = 0xf4240 us

Construire le système manuellement

- Spécification non-fonctionnelle:
 - HW: une SBC ARM11 de type Raspberry Pi 1
 - OS: RPi653
 - Configuration OS requise
 - Tick OS: 25ms = 0x61a8 us
 - La partition système demande une fenêtre de 1 tick de longueur

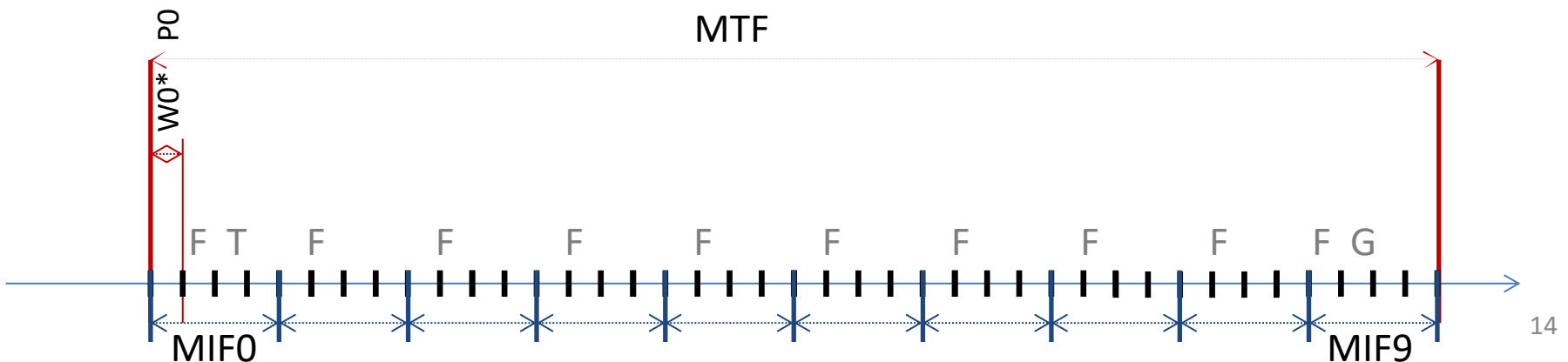
Mettre en place un MTF

- Choix de MTF = hyper-période
 - 40 ticks/MTF
 - Allouer le premier tick à une fenêtre associée à la partition système



Configuration des partitions

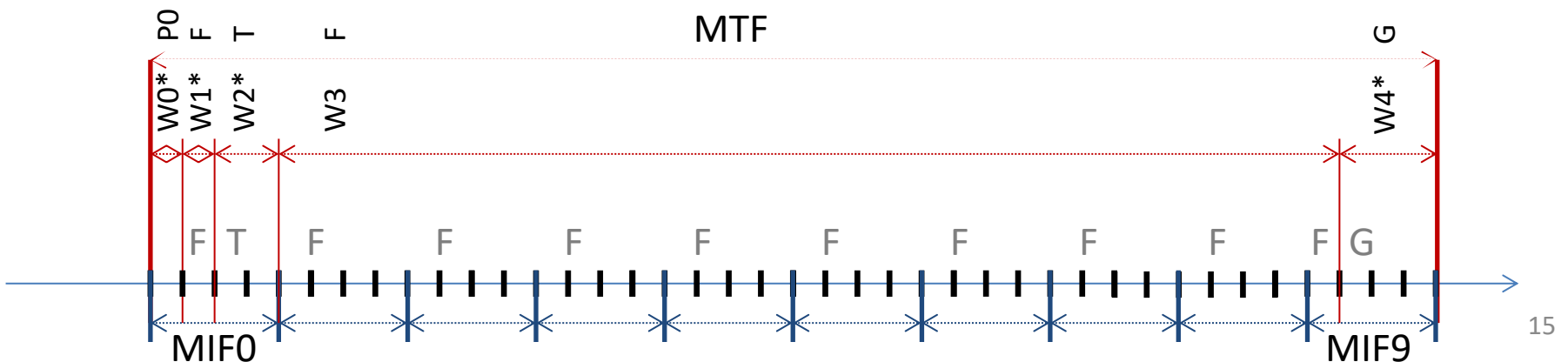
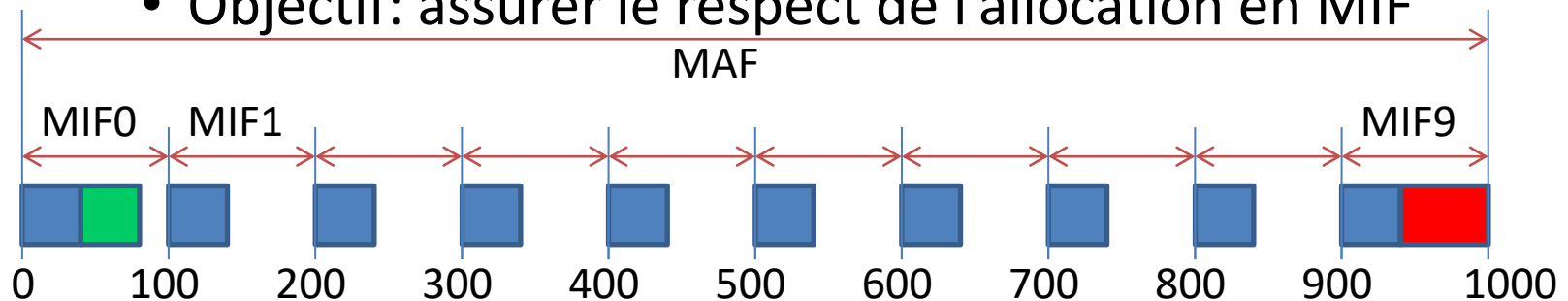
- Choix de MTF = hyper-période (MAF)
 - 40 ticks/MTF
 - Allouer le premier tick à une fenêtre associée à la partition système
 - Le reste du MTF doit être divisé entre les 3 partitions
 - Objectif: assurer le respect de l'allocation en MIF



Configuration des partitions

- Choix de MTF = hyper-période
 - Le reste du MTF doit être divisé entre les 3 partitions

- Objectif: assurer le respect de l'allocation en MIF



Configuration des partitions

- Fichier de configuration L1

```
tick 0x61a8
mtf 0xf4240

partitions 4
0 0xf4240
ports 0
1 fast.elf 0x100000 0xf4240
ports 2
0 out1 1
1 in1 0
2 gnc.elf 0x100000 0xf4240
ports 2
0 in2 0
1 out2 1
3 thermal.elf 0x100000 0xf4240
ports 0
```

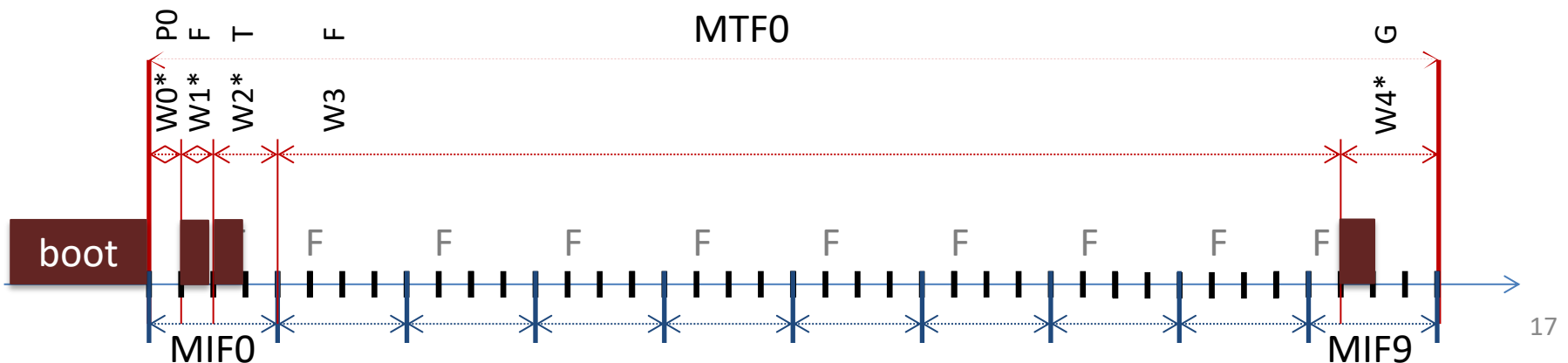
```
windows 5
0 0x0 0x61a8 0 1
1 0x61a8 0xc350 1 1
...
4 0xe1d48 0xf4240 2 1
```

```
channels 2
0 1 0 2 0 4
1 2 1 1 1 4
```

Ne jamais faire du copier-coller !

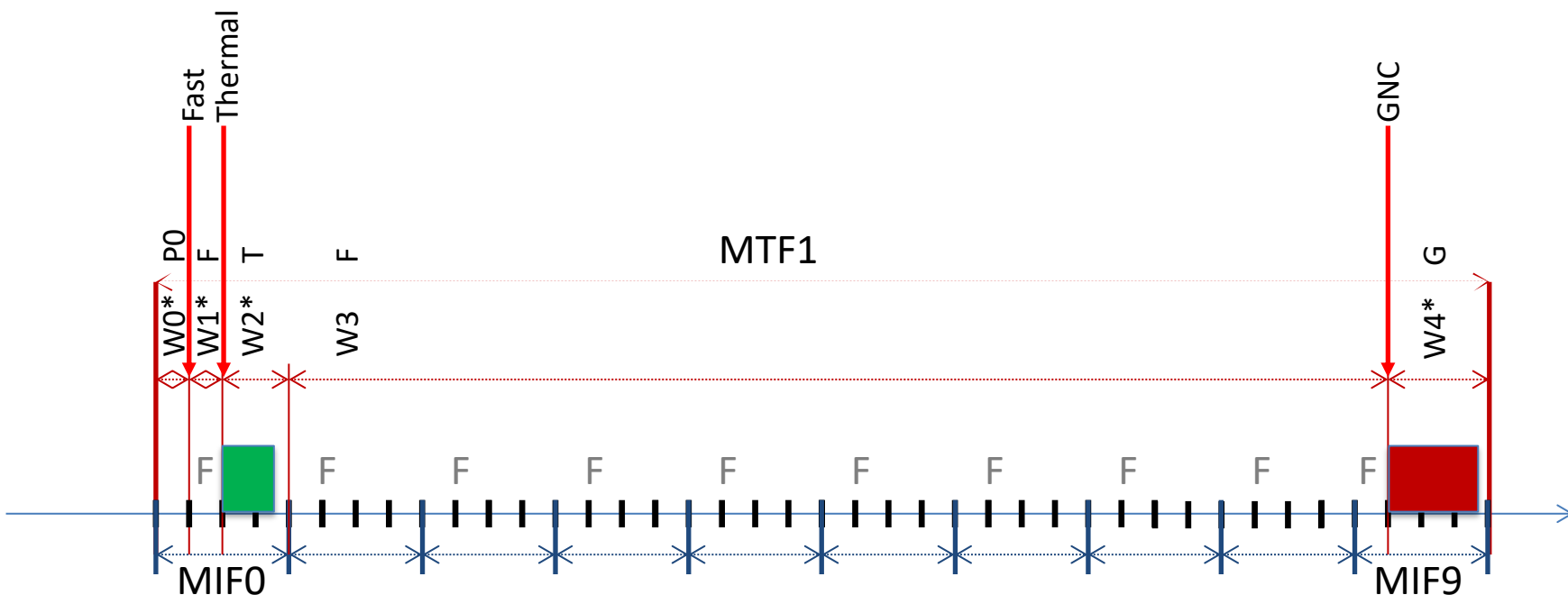
Code d'élaboration

- Démarrage en début de première fenêtre
 - Hypothèse : sa durée est inférieure à un tick



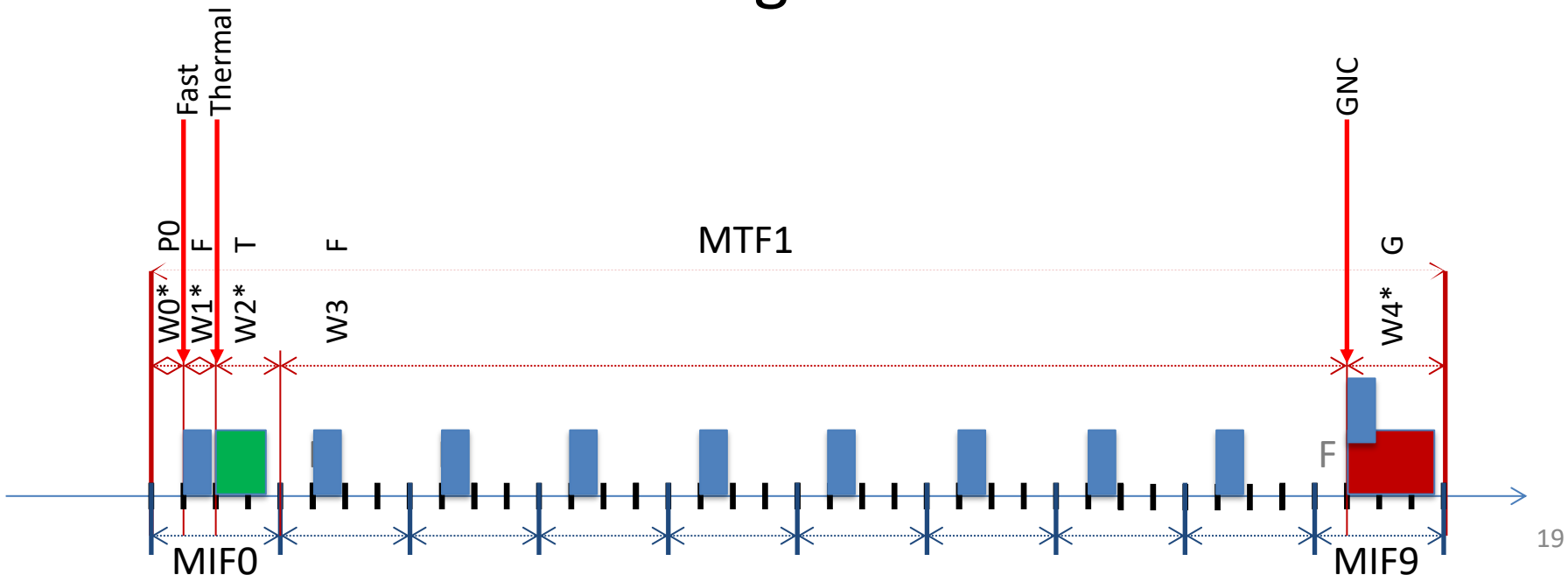
Dates de référence temporelle

- En début de première fenêtre du MTF1



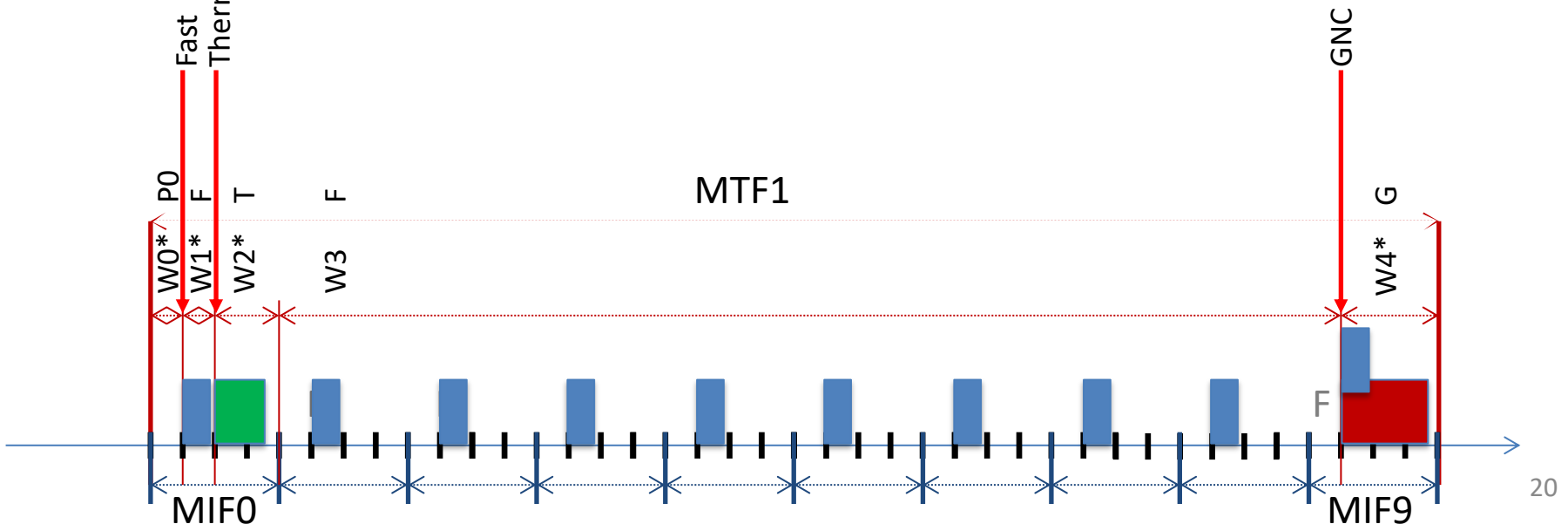
Une tâche par partition

- Démarrage en début de première fenêtre pour GNC, et Thermal (fonction APEX START)
- Pour Fast: Si démarrage avec START, l'instance 9 a une date d'arrivée égale à GNC



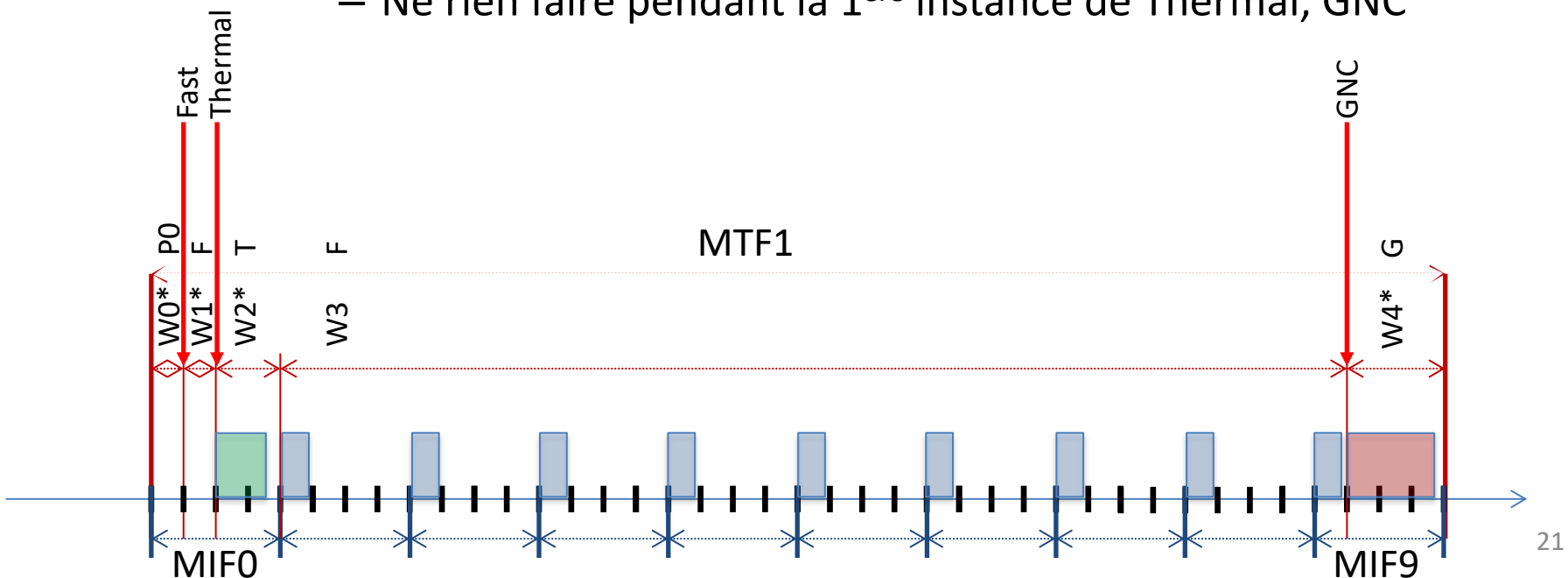
Démarrage des processus

- Solution:
 - Démarrage Fast en début de fenêtre W3 (DELAYED_START)
 - Implantation des fonctions-tâche
 - Ne rien faire pendant les 9 premières instances de Fast
 - Ne rien faire pendant la 1^{ère} instance de Thermal, GNC



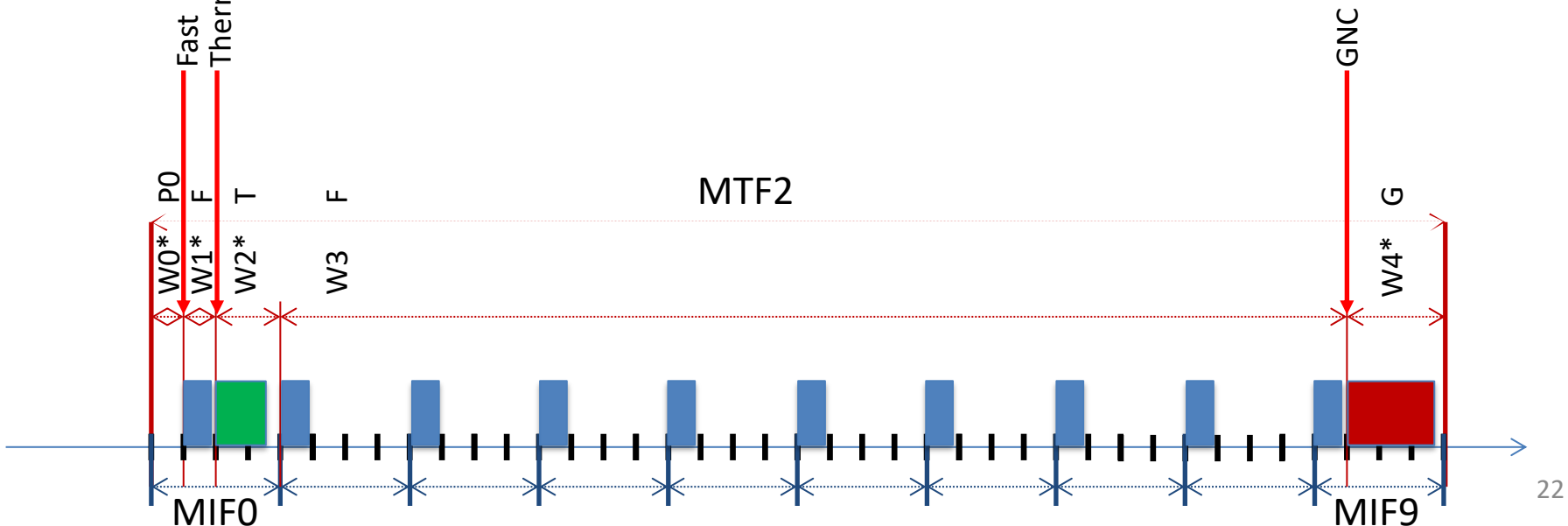
Démarrage des processus

- Solution:
 - Démarrage Fast en début de fenêtre W3 (DELAYED_START)
 - Implantation des fonctions-tâche
 - Ne rien faire pendant les 9 premières instances de Fast
 - Ne rien faire pendant la 1^{ère} instance de Thermal, GNC



Démarrage des processus

- Solution:
 - Démarrage Fast en début de fenêtre W3 (DELAYED_START)
 - Implantation des fonctions-tâche
 - Ne rien faire pendant les 9 premières instances de Fast
 - Ne rien faire pendant la 1^{ère} instance de Thermal, GNC



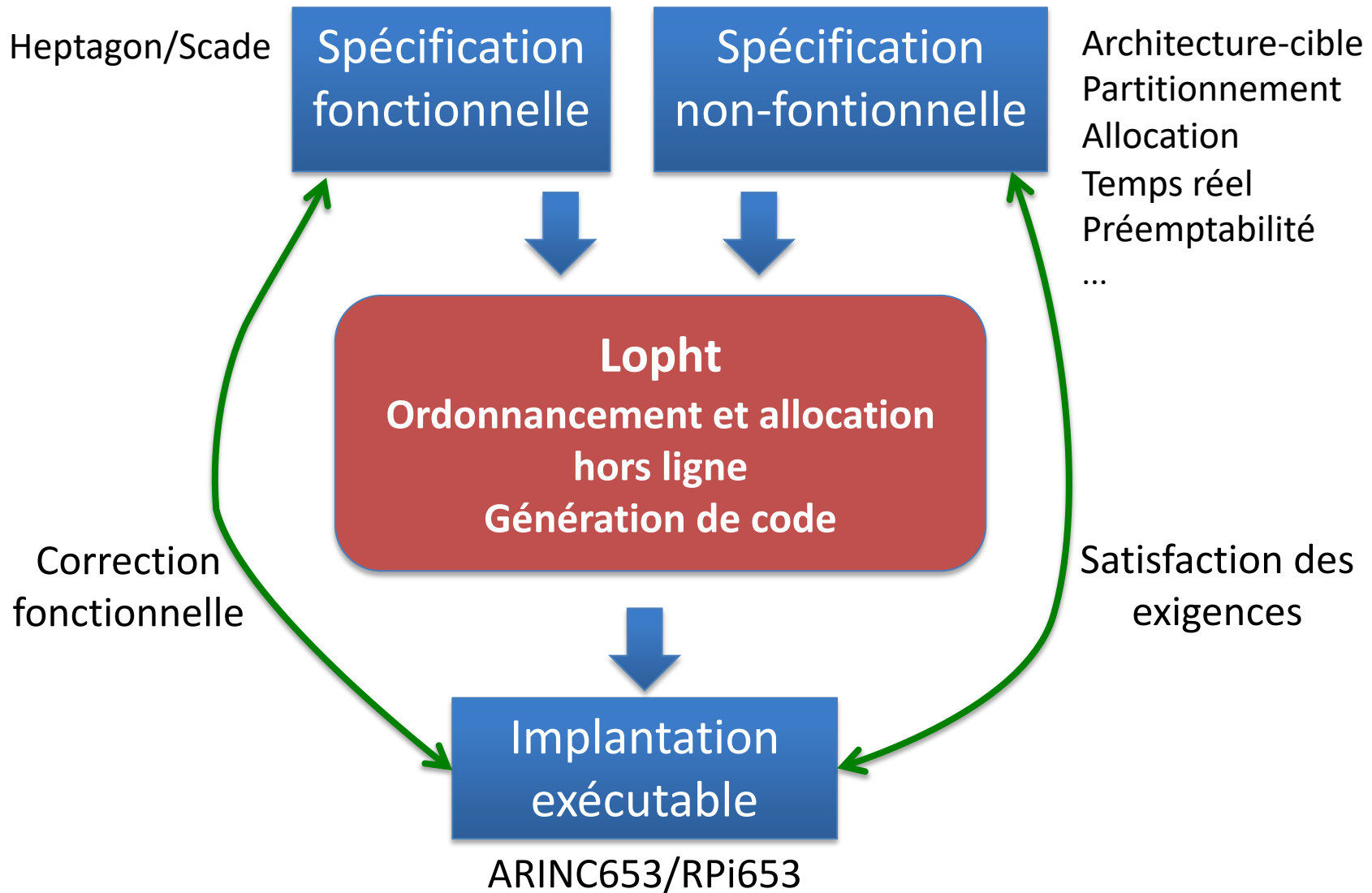
Partition fast: point d'entrée

```
// Configuration d' processus
pat.PERIOD = 0x186a0 ; /* period = 100ms = 1/10 s */
pat.TIME_CAPACITY = 0x186a0 ; /* deadline = next arrival */
pat.ENTRY_POINT = (void*)task0;
pat.STACK_SIZE = 0x1000 ;
pat.BASE_PRIORITY = 0x1 ; /* only one task, not important */
pat.DEADLINE = HARD ;
strcpy(pat.NAME,"Fast") ;
// Création du processus
CREATE_PROCESS(&pat,&pid,&rc) ;
console_perror(rc,"fast","main_process CREATE_PROCESS");
// Démarrage
DELAYED_START(avec les bons paramètres) ;
console_perror(rc,"fast","main_process START");
// Passage en mode préemptif
SET_PARTITION_MODE(NORMAL,&rc) ;
console_perror(rc,"fast","main_process SET_PARTITION_MODE");
```

Contenu du cours

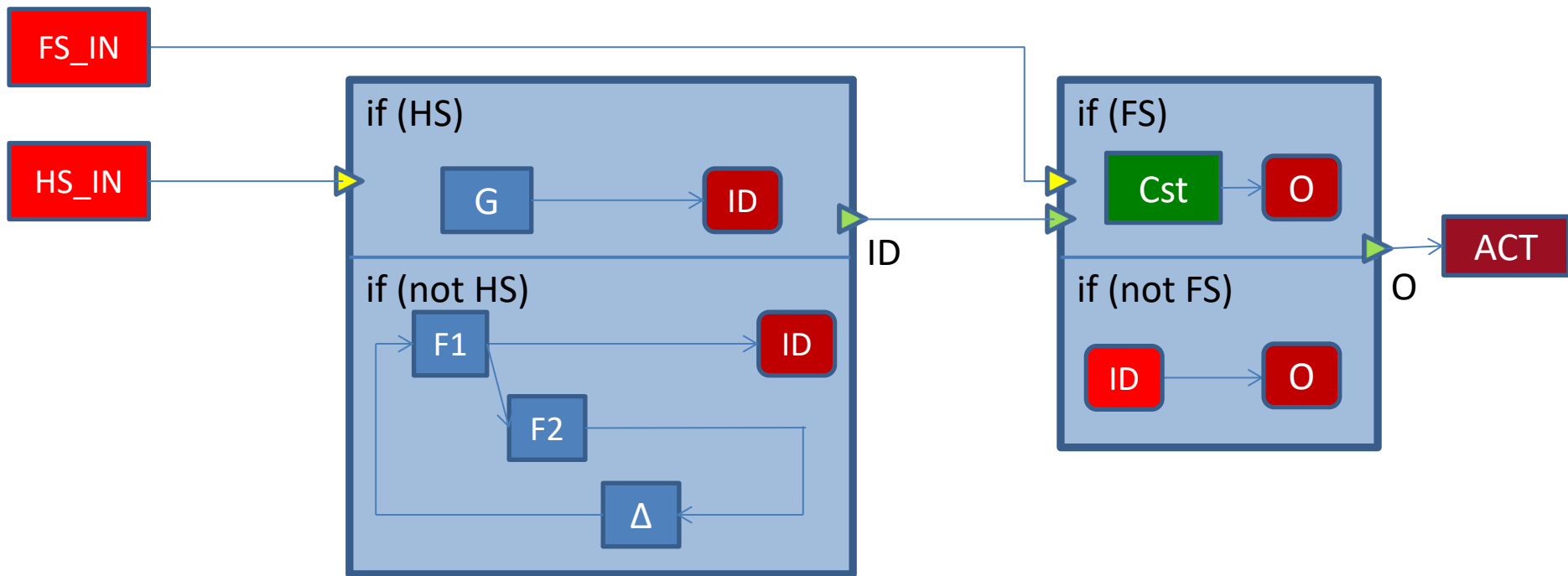
- Implantation manuelle ARINC 653 de spécifications fonctionnelles Heptagon
 - Exemple GNC (du cours 3)
- **Peut-on automatiser ?**
- Préparation du TP

Oui ! (dans certain cas)



Spécification fonctionnelle

- L'exemple de l'allumage moteur (engine.ept)



Exigences non-fonctionnelles

- Temps réel

```
period(0x70000) node main() returns ()
var fs, hs: bool ; id, param: int ;
let
  partition(critical) release(0x60000) fs = read_bool_sensor(fs_addr) ;
  partition(critical) hs = read_bool_sensor(hs_addr) ;
  partition(noncriti) deadline(0x60000) if hs then preemptive id = g() ;
                                         else var x : int; in
                                             preemptive id = f1(0 fby x) ;
                                             preemptive x = f2(id) ;
                                         end ;
  partition(critical) if fs then
                        param = default_param ;
                      else
                        param = id ;
                      end ;
  partition(critical) () = act(param) ;
tel
```

Description de l'architecture-cible

- Mono-processeur ARINC 653/RPi653 (rpi-archi.gc)

Architecture

Processor Table

Processor:0 myrpi

OSTick: 32768 /* In microseconds, as required by RPi653 */

Windows

[Window:0 Start:0 End:65536 System] /* System partition */

Duration(Externc__read_bool_sensor_step)=10000

Duration(Externc__g_step)=50000

Duration(Externc__f1_step)=30000

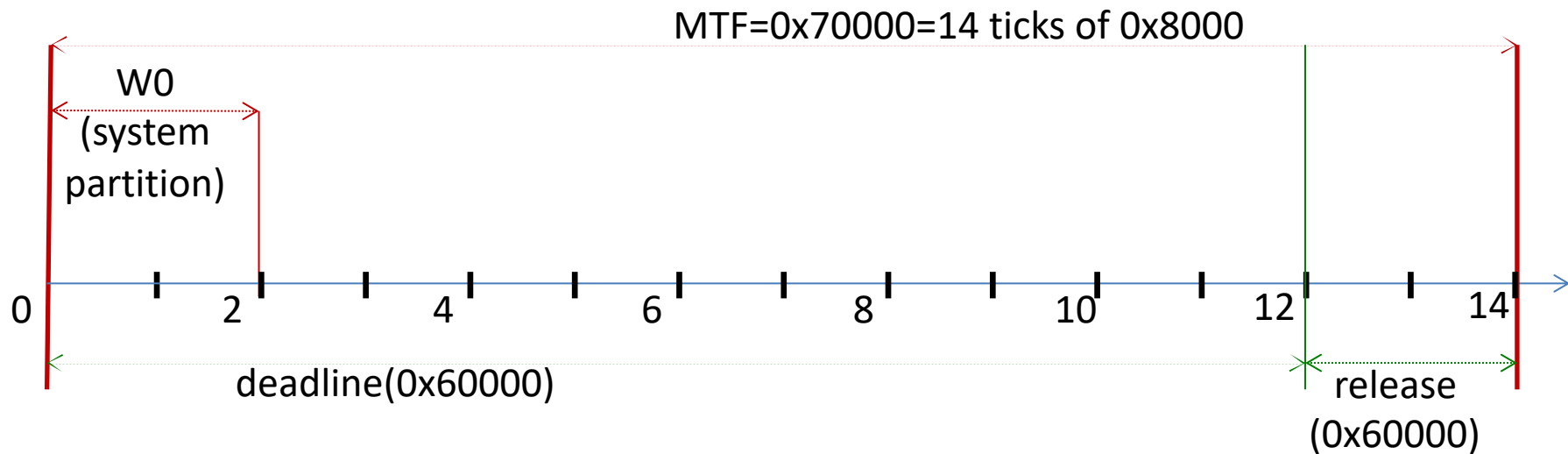
Duration(Externc__f2_step)=27000

Duration(Externc__act_step)=30000

Duration(bool)=100 /* delay update operation */

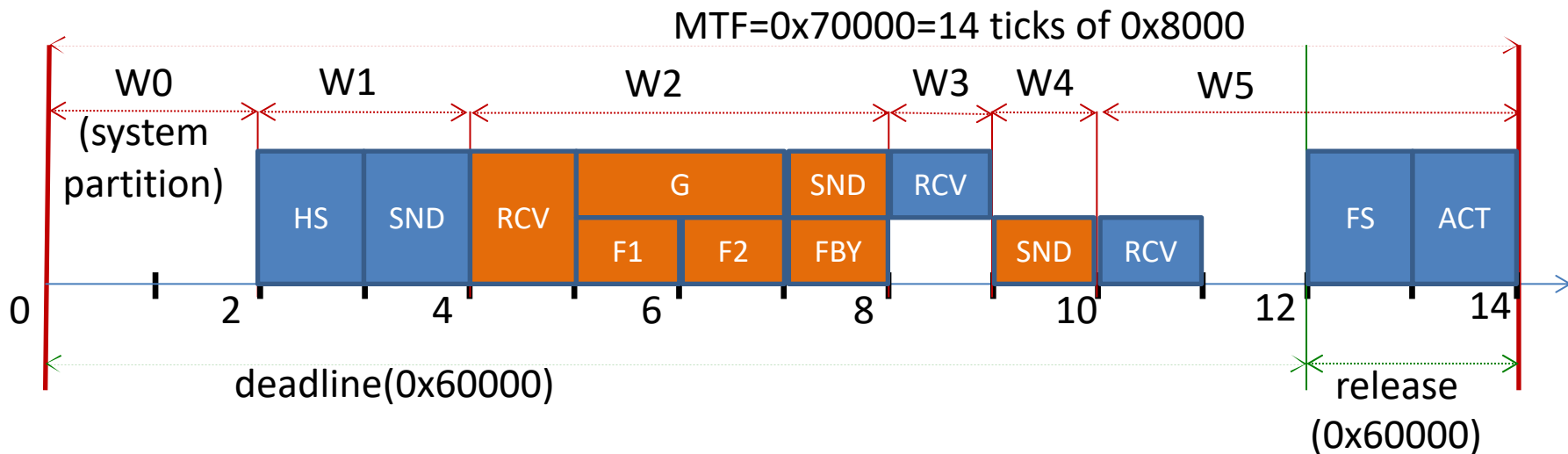
Duration(int) =100 /* delay update operation */

Description de l'architecture-cible



Sorties de Lopht

- Allocation et ordonnancement hors ligne



- Synthèse des opérations de communication entre partitions
- Synthèse des fenêtres W1-W5 sur l'espace MTF libre (après W0)
- Synthèse du schedule temps réel des tâches
 - Périodique, 1 tâche par action élémentaire
- Génération de code ARINC 653/RPi653

TP: Objectif 1

- Implanter GNC tel que décrit plus haut
 - 3 partitions (plus la partition système)
 - Impression seulement pour les tâches GNC, Thermal
 - Vérifier que les traces coïncident avec celles du code Heptagon