

## **Rapport de projet “Formule 1” Groupe 4**

OS travaux pratiques

Daniel O., Martin M., Morgan V., Martin P.

07 dec 2019



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Rapport du projet : F1-of-Linux</b>	<b>4</b>
1.1	Introduction et présentation du projet . . . . .	4
1.2	Cahier des charges du projet . . . . .	5
1.2.1	Projet OS Octobre 2019 . . . . .	5
1.2.2	Première partie : gestion des séances d'essai, des qualifications et de la course	5
1.3	Analyse du travail . . . . .	7
1.3.1	Plan du programme . . . . .	7
1.3.2	Découpage en plusieurs fichiers . . . . .	8
1.3.3	Fichiers principaux . . . . .	8
1.3.4	Description de la méthode de travail . . . . .	8
1.4	Explication des particularités du code . . . . .	10
1.4.1	Fonctionnalités du code . . . . .	10
1.4.2	Sémaphores . . . . .	12
1.4.3	Libération des ressources de l'ordinateur . . . . .	14
1.4.4	Création et gestion des processus . . . . .	15
1.4.5	Sécurité du programme . . . . .	18
1.5	Difficultés rencontrées et solutions . . . . .	18
1.6	Évolutions futures . . . . .	18
1.6.1	Intégration de codes couleurs dans l'affichage : DONE ! . . . . .	18
1.6.2	Affichage cliquable : TODO ! . . . . .	18
1.6.3	Options lié à la pression d'une touche de clavier : TODO ! . . . . .	18
1.6.4	Phase d'essai entièrement libre : TODO ! . . . . .	19
<b>2</b>	<b>Conclusion</b>	<b>20</b>
2.1	Daniel Olivier . . . . .	20
2.2	Martin Michotte . . . . .	20
2.3	Morgan Valentin . . . . .	21
2.4	Martin Perdaens . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Exemplaire du code</b>	<b>22</b>

## Liste des tableaux

1	Table des résultats. . . . .	16
2	Table de meilleur temps dans chacun des secteurs. . . . .	16

## Table des figures

1	Flowchart . . . . .	7
2	Structure des fichiers . . . . .	8

## Listings

1	shared struct . . . . .	11
2	man of shmget . . . . .	11
3	shmget implementation . . . . .	11
4	man of shmat . . . . .	12
5	les semaphores . . . . .	13
6	semwait et sempost . . . . .	13
7	man of shmdt and shmctl . . . . .	14
8	destruction des semaphores . . . . .	15
9	man of qsort . . . . .	16
10	la fonction de trie . . . . .	17
11	child.c . . . . .	22
12	child.h . . . . .	24
13	display.c . . . . .	25
14	display.h . . . . .	30
15	files.c . . . . .	30
16	files.h . . . . .	34
17	main.c . . . . .	35
18	prng.c . . . . .	41
19	prng.h . . . . .	41
20	time.c . . . . .	42
21	time.h . . . . .	43
22	window.c . . . . .	43
23	window.h . . . . .	43

# 1 Rapport du projet : F1-of-Linux

## Groupe 4

Notre groupe est constitué de 4 personnes :

- Daniel Olivier
- Martin Michotte
- Morgan Valentin
- Martin Perdaens

## 1.1 Introduction et présentation du projet

Ce projet consiste à présenter un week-end complet d'un grand prix de Formule 1, depuis les séances d'essais du vendredi jusqu'à la course du dimanche, en passant par les essais du samedi et la séance de qualifications.

Notre but consiste à reproduire cela dans un langage de programmation performant à l'exécution des méthodes implémentées, le langage C. Nous devons générer un affichage qui gèrera les séances d'essais libres, les qualifications ainsi que la course. De plus, certaines informations doivent être disponibles : temps au tour, temps secteur, disqualification, arrêt aux stands, temps depuis le début de la course.

De plus, nous devons appliquer des concepts vus en cours en première année ainsi qu'en deuxième : processus père-fils (dont `fork` est la création d'un nouveau processus utilisateur), sémaphores (pour gérer la synchronisation des processus) et la mémoire partagée (allocation et utilisation par appel des mémoires partagées via leurs identificateurs).

## 1.2 Cahier des charges du projet

### 1.2.1 Projet OS Octobre 2019

Le but du projet est de gérer un week-end complet d'un grand prix de Formule 1, depuis les séances d'essais du vendredi jusqu'à la course du dimanche, en passant par les essais du samedi et la séance de qualifications.

Il y a 20 voitures engagées dans un grand prix. Leurs numéros sont : 44, 77, 5, 7, 3, 33, 11, 31, 18, 35, 27, 55, 10, 28, 8, 20, 2, 14, 9, 16.

Un circuit de F1 est divisé en 3 secteurs (S1, S2, S3).

Le calendrier d'un week-end de F1 est établi comme suit :

- Vendredi matin, une séance d'essais libres d'1h30 (P1)
- Vendredi après-midi, une séance d'essais libres d'1h30 (P2)
- Samedi matin, une séance d'essais libres d'1h (P3)
- Samedi après-midi, la séance de qualifications, divisée en 3 parties :
  - Q1, durée 18 minutes, qui élimine les 5 dernières voitures (qui occuperont les places 16 à 20 sur la grille de départ de la course)
  - Q2, durée 15 minutes, qui élimine les 6 voitures suivantes (qui occuperont les places 11 à 16 sur la grille de départ de la course)
  - Q3, durée 12 minutes, qui permet de classer les 10 voitures restantes pour établir les 10 premières places sur la grille de départ de la course
- Dimanche après-midi, la course en elle-même.

Votre projet devra prendre en charge les choses suivantes.

### 1.2.2 Première partie : gestion des séances d'essai, des qualifications et de la course

#### Lors des séances d'essais (P1, P2, P3) :

- ☒ Relever les temps dans les 3 secteurs à chaque passage pour chaque voiture
- ☒ Toujours savoir qui a le meilleur temps dans chacun des secteurs
- ☒ Classer les voitures en fonction de leur tour complet le plus rapide
- ☒ Savoir si une voiture est aux stands (P)
- ☒ Savoir si une voiture est out (abandon de la séance)
- ☒ Dans ces 2 derniers cas, on conserve toujours le meilleur temps de la voiture et celle-ci reste dans le classement
- ☒ Conserver le classement final à la fin de la séance

**Lors des qualifications (Q1, Q2, Q3) :**

- ☒ Relever les temps dans les 3 secteurs à chaque passage pour chaque voiture
- ☒ Toujours savoir qui a le meilleur temps dans chacun des secteurs
- ☒ Classer les voitures en fonction de leur tour complet le plus rapide
- ☒ Savoir si une voiture est aux stands (P)
- ☒ Savoir si une voitures est out (abandon de la séance)
- ☐ Dans ces 2 derniers cas, on conserve toujours le meilleur temps de la voiture et celle-ci reste dans le classement
- ☒ A la fin de Q1, il reste 15 voitures qualifiées pour Q2 et les 5 dernières sont placées à la fin de la grille de départ (places 16 à 20)
- ☒ A la fin de Q2, il reste 10 voitures qualifiées pour Q3 et les 5 dernières sont placées dans les places 11 à 15 de la grille de départ
- ☒ Le classement de Q3 attribue les places 1 à 10 de la grille de départ
- ☒ Conserver le classement final à la fin des 3 séances (ce sera l'ordre de départ pour la course).

**Lors de la course :**

- ☒ Le premier classement est l'ordre sur la grille de départ
- ☒ Le classement doit toujours être maintenu tout au long de la course (gérer les dépassements)
- ☒ Relever les temps dans les 3 secteurs à chaque passage pour chaque voiture
- ☒ Toujours savoir qui a le meilleur temps dans chacun des secteurs
- ☒ Toujours savoir qui a le tour le plus rapide
- ☐ Savoir si la voiture est out (abandon) ; dans ce cas, elle sera classée en fin de classement
- ☒ Savoir si la voiture est aux stands (PIT), gérer le temps aux stands et faire ressortir la voiture à sa place dans la course (généralement 2 ou 3 PIT par voitures)
- ☒ Conserver le classement final et le tour le plus rapide

**Remarque : les stands se trouvent toujours dans le secteur 3.**

De plus, il vous est demandé de paramétrer votre programme.

En effet, les circuits peuvent être de longueur très variable et, dès lors le nombre de tours pour la course varie également (on essaie que le nombre total de kilomètres soit toujours plus ou moins le même pour chacune des courses du calendrier).

**On vous demande de :**

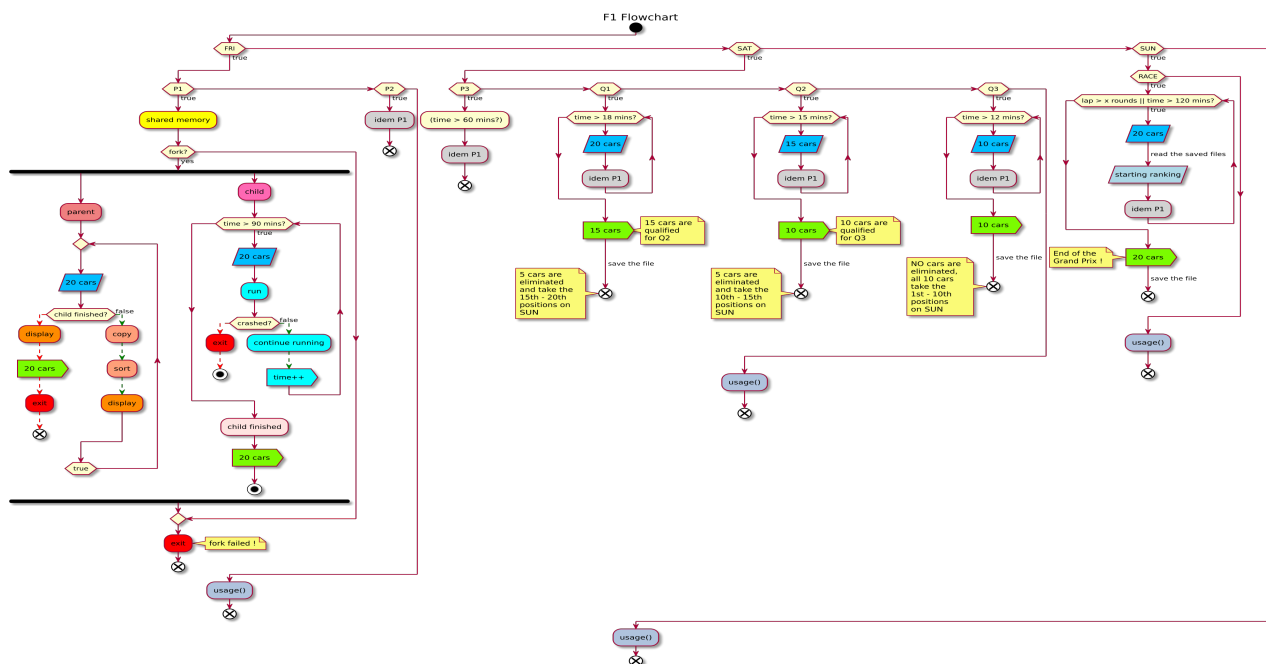
- ☒ Réaliser le programme en C sous Linux
- ☒ Utiliser la mémoire partagée comme moyen de communication inter-processus
- ☒ Utiliser les sémaphores pour synchroniser l'accès à la mémoire partagée

## 1.3 Analyse du travail

### 1.3.1 Plan du programme

Afin d'améliorer notre rapport, nous avons retenu les remarques faites par la professeur lors d'une séance de TP. Suite à ce dernier, nous avons décidé de commencer par décortiquer les demandes et en faire un flowchart afin de mieux visualiser le projet :

**FIG. 1 :** Flowchart

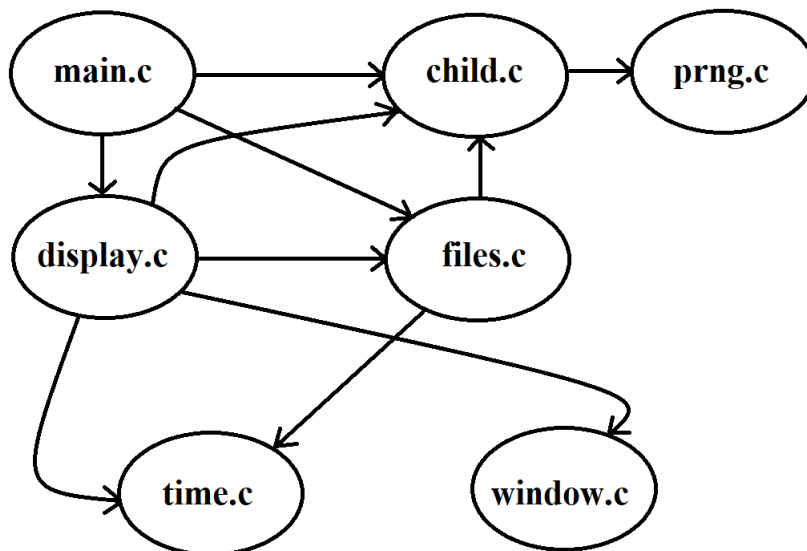


Malheureusement vu la taille du l'image, on était obligé de l'imprimer à part sur une feuille A3 qui se trouve en annexe du rapport. Comme vous pouvez le voir sur l'image le projet est divisé en 3 parties. Vendredi, samedi et dimanche. P1 et P2 sont exécutés le vendredi, samedi on a les étapes suivantes : P3, Q1, Q2, Q3 et afin dimanche on a la course finale.

Pour une question de sécurité si le nom jour passé comme argument du programme est ni vendredi ni samedi ni dimanche, le programme affiche un manuel en console et s'arrête.

### 1.3.2 Découpage en plusieurs fichiers

FIG. 2 : Structure des fichiers



Pour simplifier le projet, nous avons décidé de découper ce dernier en plusieurs au lieu d'avoir tout le code dans un seul fichier. Nous avons **7 fichiers C** qui communiquent entre eux pour produire un exécutable. Le fait d'avoir coupé le code en plusieurs fichiers nous a beaucoup aidé lors du débogage des problèmes rencontrés au fur qu'on avançait.

### 1.3.3 Fichiers principaux

Sans surprise, le fichier le plus important c'est le fichier **main.c**. C'est dans ce dernier qu'on trouve la création de la mémoire partagée, des sémaphores, paramétrage du programme et également des fils/voitures qui vont participer au Grand Prix. Le fichier **display.c** sert principalement à afficher les données triées en console, le fichier **child.c** comme son nom l'indique c'est dans ce fichier que les voitures créent par la fonction `fork` dans **main.c** vont écrire dans la mémoire partagée. et finalement parmi les fichiers principaux, on a le fichier **files.c** qui va se charger de tout ce qui a avoir avec un fichier. La création et la lecture des fichiers est géré par ce fichier **files.c**.

### 1.3.4 Description de la méthode de travail

Tout premièrement, nous avons décidé de travailler avec un logiciel de gestion de version notamment connu sous le nom de git. Ce type de logiciel est devenu indispensable lorsqu'on travaille à plusieurs sur un même projet et donc sur le même code source. cela nous a permit deux choses :



- **suivre l'évolution du code source**, pour retenir les modifications effectuées sur chaque fichier et être ainsi capable de revenir en arrière en cas de problème.
- **travailler à plusieurs**, sans risquer de se marcher sur les pieds. Si deux personnes modifient un même fichier en même temps, leurs modifications doivent pouvoir être fusionnées sans perte d'information.

On a remarqué toute au début du projet qu'il était primordiale d'avoir une voiture qui tourne et affiche bien les données en console avant d'en avoir 20 qui tournent en même temps. Du coup on a commencé par créer le fichier **child.c** pour générer aléatoirement le temps secteurs, le temps passé au stand etc...

Une fois qu'on avait une voiture qui tournait correctement, on est passé à l'étape suivante l'affichage. On a décidé de représenter les données en console sous forme d'une table. Il existe plusieurs librairies qui permettent d'avoir une table en console mais la plupart supporte pas le rafraichissement. L'un de plus gros challenge qu'on a rencontré, c'était le rafraichissement des données dans une table en console. On a fini par utiliser une librairie disponible sur github sous le nom de **libfort** et quelques commandes bash qu'on a dû convertir en langage C pour obtenir le rafraichissement des données affichés en console.

Après avoir réussi à obtenir une voiture qui tournait correctement et un affichage qui nous convenait bien, on est passé à la création de la mémoire partagée, évidemment créer ce dernier sans avoir au moins 2 processus qui tournent n'a pas de sens. On est resté bloquer sur la mémoire partagée pendant plusieurs semaines car on a connu plusieurs problèmes notamment les fils qui terminaient jamais, des processus zombie, les voitures qui tournaient plus alors qu'une tournait bien avant la mémoire partagée...

## 1.4 Explication des particularités du code

### 1.4.1 Fonctionnalités du code

Le programme prend en tant qu'arguments le nom d'une étape du week-end de Formule 1 ainsi que la longueur d'un tour en kilomètres. Si ce dernier n'est pas fourni, une valeur par défaut est attribuée.

On lance la phase sélectionnée pour chacune des voitures participantes. Lors de la simulation, les voitures participantes vont générer des temps aléatoires à chaque secteur.

Un tableau de valeurs reprenant des informations diverses est ensuite affiché afin de pouvoir suivre l'évolution de l'étape choisie. Les informations représentée dans ce dernier dépendent de l'étape concernée. Ce tableau est également trié en fonction du meilleur temps de tour par pilote ou, dans le cadre de la course, trié en fonction de leur position.

Au départ de la course, chaque participant démarre dans l'ordre précédemment déterminé par les séances de qualifications et avec une pénalité relative à leur position de départ.

Lorsque la simulation d'une étape est terminée, les positions des pilotes est sauvegardée dans un fichier. Ce fichier sera chargé lors de l'étape suivante afin de déterminer les participants ainsi que leurs positions.

Tout premièrement, nous avons décidé de travailler avec un logiciel de gestion de version notamment connu sous le nom de git.

On a remarqué tout au début du projet qu'il était primordiale d'avoir une voiture qui tourne et affiche bien les donnés en console avant d'en avoir 20 qui tournent en même temps. Du coup ### Mémoire partagée et communication entre processus

La mémoire partagée est un moyen efficace de transférer des données entre processus indépendants (issus de programmes binaires séparés, de propriétaires différents). Il s'agit d'un ensemble d'adresses (perçu sous la forme d'un bloc d'octets) apparaissant dans l'espace d'adressage du processus qui le crée. Les autres processus pouvant alors « attacher » le même segment de mémoire partagée dans leur propre espace d'adressage (virtuel).

Si un processus écrit dans la mémoire partagée, la modification est immédiatement perçue par tout autre processus ayant accès à cette mémoire partagée.

La mémoire partagée ne dispose d'aucun dispositif de synchronisation. Rien ne permet de veiller automatiquement à ce qu'un processus ne puisse commencer à lire la mémoire alors qu'un autre processus n'y a pas terminé son écriture : c'est au programmeur de régler l'accès à cette ressource commune aux processus ayant accès à cette mémoire partagée.

La mémoire partagée contient un tableau de structure comportant les informations de secteurs entre autres choses.

**Listing 1 :** shared struct

```
1  typedef struct F1_Car {
2      int id;
3      double lap_time;
4      double s1;
5      double s2;
6      double s3;
7      int best_s1;
8      int best_s2;
9      int best_s3;
10     int stand;
11     int out;
12     int lap;
13     int best_lap_time;
14     int done;
15 } F1_Car;
```

Sous Linux, la mémoire partagée peut s'utiliser via les appels systèmes `shmget`, `shmat` et `shmdt`. L'appel système `shmget` permet de créer un segment de mémoire partagée. Le premier argument de `shmget` est une clé qui identifie le segment de mémoire partagée. Cette clé est en pratique encodée sous la forme d'un entier qui identifie le segment de mémoire partagée. Elle sert d'identifiant du segment de mémoire partagée dans le noyau. Un processus doit connaître la clé qui identifie un segment de mémoire partagée pour pouvoir y accéder. On utilise la clé `IPC_PRIVATE` pour la création de ce dernier. Le deuxième argument de `shmget` donne le nombre d'octets du segment. Enfin, le troisième argument est une combinaison (par OU bit à bit) de constantes (telles que `IPC_CREAT` pour la création) et de droits d'accès (comme `0666`). Par exemple pour créer un segment on utilisera typiquement l'option `IPC_CREAT|0666`, et pour l'acquisition simplement `0666`.

**Listing 2 :** man of `shmget`

```
1  #include <sys/ipc.h>
2  #include <sys/shm.h>
3
4  int shmget(key_t key, size_t size, int shmflg);
```

L'appel système `shmget` retourne un entier qui identifie le segment de mémoire partagée à l'intérieur du processus si il réussit et -1 sinon. Il est important de noter que si l'appel à `shmget` réussit, cela indique que le processus dispose des permissions pour accéder au segment de mémoire partagée, mais à ce stade il n'est pas accessible depuis la table des pages du processus.

**Listing 3 :** `shmget` implementation

```
1  F1_Car *car;
2      int struct_shm_id = shmget(IPC_PRIVATE, sizeof(F1_Car) * circuit.
                                number_of_cars, 0600 | IPC_CREAT);
```

```
3     if (struct_shm_id == -1) {
4         perror("shmget failed !");
5         exit(EXIT_FAILURE);
6     }
```

Cette modification à la table des pages du processus se fait en utilisant `shmat`. Cet appel système permet d'attacher un segment de mémoire partagée à un processus. Il prend comme premier argument l'identifiant du segment de mémoire retourné par `shmget`. Le deuxième argument est un pointeur vers la zone mémoire via laquelle le segment doit être accessible dans l'espace d'adressage virtuel du processus. Généralement, c'est la valeur NULL qui est spécifiée comme second argument et le noyau choisit l'adresse à laquelle le segment de mémoire est attaché dans le processus. Il est aussi possible de spécifier une adresse dans l'espace d'adressage du processus. Le troisième argument permet, en utilisant le drapeau SHM\_RDONLY, d'attacher le segment en lecture seule ou 0 pour un segment en lecture/écriture. `shmat` retourne l'adresse à laquelle le segment a été attaché en cas de succès et (void \*) -1 en cas d'erreur.

#### Listing 4 : man of shmat

```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/shm.h>
3
4 void *shmat(int shm_id, const void *shm_addr, int shm_flg);
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
```

### 1.4.2 Sémaphores

La notion de sémaphore est implémentée dans la plupart des systèmes d'exploitation. Il s'agit d'un concept fondamental car il permet une solution à la plupart des problèmes d'exclusion.

Un sémaphore est un mécanisme empêchant deux processus ou plus d'accéder simultanément à une ressource partagée. Sur les voies ferrées, un sémaphore empêche deux trains d'entrer en collision sur un tronçon de voie commune. Sur les voies ferrées comme dans les ordinateurs, les sémaphores ne sont qu'indicatifs : si un machiniste ne voit pas le signal ou ne s'y conforme pas, le sémaphore ne pourra éviter la collision.

De même si un processus ne teste pas un sémaphore avant d'accéder à une ressource partagée, le chaos peut en résulter. Un sémaphore binaire n'a que deux états :

- 0 verrouillé (ou occupé).

- 1 déverrouillé (ou libre).

Quand il vaut zéro, un processus tentant de l'acquérir doit attendre qu'un autre processus ait augmenté sa valeur car le sémaphore ne peut jamais devenir négatif. Dans le cas de notre projet on utilise les sémaphores POSIX qui sont disponibles dans la librairie standard C (GNU). La glibc offre donc une implémentation des sémaphores.

Dans notre projet on utilise les fonctions suivantes de la librairie pour gérer un sémaphore de type `sem_t`:

#### Listing 5 : les sémaphores

```
1 #include <semaphore.h>
2
3 int sem_init(sem_t *sem, int pshared, unsigned int value);
4 int sem_destroy(sem_t *sem);
5 int sem_wait(sem_t *sem);
6 int sem_post(sem_t *sem);
```

Pour pouvoir utiliser un sémaphore, il faut d'abord l'initialiser. Cela se fait en utilisant la fonction `sem_init` qui prend comme premier argument un pointeur vers le sémaphore à initialiser, deuxième argument `pshared` indique si ce sémaphore sera partagé entre les threads d'un processus ou entre processus. Si `pshared` vaut 0, le sémaphore est partagé entre les threads d'un processus si non c'est entre les processus. Enfin, le troisième argument `value` spécifie la valeur initiale du sémaphore.

Les deux principales fonctions de manipulation des sémaphores sont `sem_wait` et `sem_post`.

- `sem_wait()` décrémente (verrouille) le sémaphore pointé par `sem`. Si la valeur du sémaphore est plus grande que 0, la décrémentation s'effectue et la fonction revient immédiatement. Si le sémaphore vaut zéro, l'appel bloquera jusqu'à ce que soit il devienne disponible pour effectuer la décrémentation (c'est-à-dire la valeur du sémaphore n'est plus nulle), soit un gestionnaire de signaux interrompe l'appel.
- `sem_post()` incrémente (déverrouille) le sémaphore pointé par `sem`. Si, à la suite de cet incrément, la valeur du sémaphore devient supérieure à zéro, un autre processus ou thread bloqué dans un appel `sem_wait()` sera réveillé et procédera au verrouillage du sémaphore.

Ces deux opérations sont bien entendu des opérations qui ne peuvent s'exécuter simultanément. Leur implémentation réelle comprend des sections critiques qui doivent être construites avec soin. La section critique dans notre projet est lors de l'affichage.

#### Listing 6 : semwait et sempost

```
1 #include <semaphore.h>
2
3 sem_t *sem;
```

```
4
5  sem_init(sem, 1, 1);
6
7  sem_wait(sem);
8  // section critique : affichage voir le code dans le fichier display.c
9  sem_post(sem);
10
11 sem_destroy(sem);
```

### 1.4.3 Libération des ressources de l'ordinateur

Afin de libérer les ressources de l'ordinateur, plusieurs étapes sont réalisées une fois que les processus enfants ont terminé leur fonction et que le programme est prêt à quitter.

Premièrement, il y a « détachement » de la mémoire partagée et ensuite ce dernier est supprimée.

L'appel système `shmdt` permet de détacher un segment de mémoire qui avait été attaché en utilisant `shmat`. L'argument passé à `shmdt` doit être l'adresse d'un segment de mémoire attaché préalablement par `shmat`. Lorsqu'un processus se termine, tous les segments auxquels il était attaché sont détachés lors de l'appel à `exit`.

Détacher la mémoire partagée ne la supprime pas. Détacher la mémoire partagée permet juste de casser la correspondance entre les pages de l'espace virtuel dédiées au segment de mémoire et les pages frames de la mémoire physique dédiées au segment de mémoire partagée. Pour réellement supprimer la mémoire partagée on fait appel à la fonction `shmctl`.

L'appel système `shmctl` prend trois arguments. Le premier est un identifiant de segment de mémoire partagée retourné par `shmget`. Le deuxième est une constante qui spécifie une commande. On utilise uniquement la commande `IPC_RMID` qui permet de retirer le segment de mémoire partagée dont l'identifiant est passé comme premier argument. Si il n'y a plus de processus attaché au segment de mémoire partagée, celui-ci est directement supprimé. Sinon, il est marqué de façon à ce que le noyau retire le segment dès que le dernier processus s'en détache. `shmctl` retourne 0 en cas de succès et -1 en cas d'échec.

#### Listing 7 : man of shmdt and shmctl

```
1  #include <sys/ipc.h>
2  #include <sys/shm.h>
3
4  int shmdt(const void *shmaddr);
5  int shmctl(int shmid, int cmd, struct shmid_ds *buf);
```

Deuxièmement, on fait presque la même chose avec les sémaphores mais avec des fonctions différentes. La fonction `sem_destroy` permet de libérer un sémaphore qui a été initialisé avec `sem_init`.

Les sémaphores consomment des ressources qui peuvent être limitées dans certains environnements. Il est important de détruire proprement les sémaphores dès qu'ils ne sont plus nécessaires.

**Listing 8 : destruction des sémaphores**

```
1 shmdt(car);  
2 shmctl(struct_shm_id, IPC_RMID, NULL);  
3 sem_destroy(sem);
```

**1.4.4 Création et gestion des processus**

Chaque voiture correspond à un processus fils, tandis que le père s'occupe de la gestion des étapes et de l'affichage.

La création des processus se fait par la fonction `fork`, faisant partie des appels système POSIX. Elle permet de donner naissance à un nouveau processus qui est sa copie.

La création des processus fils est présent dans le fichier de code source `main.c`.

**Rôle du processus père**

Dans notre cas, nous avons un processus père donnant naissance au nombre de processus fils nécessaire à l'étape choisie. Chaque processus fils représente une voiture.

Le processus père, quant à lui, va lire des informations provenant de la mémoire partagée. Il s'occupe également de l'affichage ainsi que du tri tout comme la sauvegarde des informations sur fichier des étapes de qualifications et de la course.

**Rôle des processus fils**

Dans le cadre de ce projet, les fils sont seulement chargés à courir. C'est-à-dire exécuter les étapes à faire pour un week-end complet d'un grand prix de Formule 1. Pour y arriver on utilise une boucle `while()` avec comme condition si le temps de l'étape choisi n'a pas écoulé, alors les fils courent. Pour la course de dimanche les fils courent tant qu'ils n'ont pas fini les tours à faire. Les crash sont gérés à l'intérieur de la boucle `while()`.

Le code du fils est présent dans le fichier de code source `child.c`.

**Affichage**

Pour pouvoir lire les données dans la table, on utilise une librairie publique `libfort` disponible sur github : <https://github.com/seleznevae/libfort>. Voici un exemple du résultat lors de l'étape Q2.

**TAB. 1 :** Table des résultats.

Position	NAME	S1	S2	S3	OUT	PIT	LAP	LAP TIME	BEST LAP TIME
1	7	32":03	39":03	44":77	0	0	13	1':02":19	1':19":42
2	35	42":53	41":27	39":23	0	1	9	1':11":71	1':22":31
3	40	36":13	30":03	44":12	0	0	16	1':03":36	1':44":28
4	40	40":04	43":03	43":03	0	0	10	1':40":11	1':51":47
5	77	33":11	34":43	42":59	0	1	11	1':17":23	2':12":73

Il y a également une deuxième table pour savoir qui a le meilleur temps dans chacun des secteurs.

**TAB. 2 :** Table de meilleur temps dans chacun des secteurs.

SECTOR	NAME	TIME
S1	3	31":03
S2	42	33":27
S3	36	38":44

Le code de la création de ces deux tables est présent dans le fichier de code source `display.c`.

### Le trie

Pour pouvoir classer les voitures en fonction de leur tour complet le plus rapide, ou en fonction de leur rapidité lors la course, on utilise la fonction de la librairie `qsort`.

### Listing 9 : man of `qsort`

```
1 void qsort(void *base, size_t nel, size_t width,
2           int (*compar)(const void *, const void *));
```

Le premier est un pointeur vers le début de la zone mémoire à trier. Le second est le nombre d'éléments à trier. Le troisième contient la taille des éléments stockés dans le tableau. Le quatrième argument est un pointeur vers la fonction qui permet de comparer deux éléments du tableau. Cette fonction retourne un entier négatif si son premier argument est inférieur au second et positif ou nul sinon.

Les deux arguments de type `(const void *)` font appel à l'utilisation de pointeurs `(void *)` qui est nécessaire car la fonction doit être générique et pouvoir traiter n'importe quel type de pointeurs.



(**void \***) est un pointeur vers une zone quelconque de mémoire qui peut être casté vers n'importe quel type de pointeur par la fonction de comparaison. Le qualificatif **const** indique que la fonction n'a pas le droit de modifier la donnée référencée par ce pointeur, même si elle reçoit un pointeur vers cette donnée. On retrouve régulièrement cette utilisation de **const** dans les signatures des fonctions de la librairie pour spécifier des contraintes sur les arguments passés à une fonction.

Un exemple de fonction de comparaison est la fonction **strcmp** de la librairie standard. Le pseudo-code repris ci-dessous est notre implémentation de la fonction **qsort**.

**Listing 10 :** la fonction de trie

```
1  int compare(const void *left, const void *right) {
2      const F1_Car *process_a = (F1_Car *) left;
3      const F1_Car *process_b = (F1_Car *) right;
4
5      if (strcmp(circuit.step_name, "RACE")) {
6          if (process_a->best_lap_time < process_b->best_lap_time)
7              return -1;
8          else if (process_a->best_lap_time > process_b->best_lap_time)
9              return 1;
10         else
11             return 0;
12     } else {
13         if (process_a->lap < process_b->lap)
14             return 1;
15         else if (process_a->lap > process_b->lap)
16             return -1;
17         else
18             return 0;
19     }
20 }
21
22 sem_wait(sem);
23 memcpy(car_array, data, sizeof(F1_Car) * circuit.number_of_cars);
24 sem_post(sem);
25 qsort(car_array, circuit.number_of_cars, sizeof(F1_Car), compare);
```

Avant de trier on fait une copie des données du struct partagée entre les processus par la fonction **memcpy**. Cette fonction permet de copier un bloc de mémoire spécifié par le paramètre source, et dont la taille est spécifiée via le paramètre size, dans un nouvel emplacement désigné par le paramètre destination. Il est bien entendu qu'il est de notre responsabilité d'allouer suffisamment de mémoire pour le bloc de destination afin qu'il puisse contenir toutes les données.

Le code sur qui permet de gérer les trie est présent dans le fichier de code source **display.c**.

### 1.4.5 Sécurité du programme

Comme programme doit être paramétré, la sécurité se passera par les paramètres du programme...

## 1.5 Difficultés rencontrées et solutions

Concernant les difficultés rencontrées, la mémoire partagée et le classement de départ pour la course étaient les plus gros challenges du projet.

## 1.6 Évolutions futures

### 1.6.1 Intégration de codes couleurs dans l’affichage : DONE !

Il s’agit certes d’une implémentation de moindre importance, mais cela pourrait s’avérer pratique pour ressortir de manière plus rapide les informations les plus importantes. Par exemple, on pourrait réaliser un code couleur pour :

- Les 3 premières places dans le classement,
- Le temps le plus rapide au tour,
- La voiture ayant le temps le plus rapide au tour depuis le début de la course,
- La ou les voiture(s) ayant abandonné la course (OUT).

### 1.6.2 Affichage cliquable : TODO !

Comme à la manière de `htop` dans Linux, la possibilité de cliquer sur un des en-têtes de colonne afin de trier automatiquement l’affichage en fonction de cette colonne pourrait s’avérer intéressante. En effet, si l’utilisateur souhaite prêter plus particulièrement son attention sur une catégorie d’information précise, cela pourrait lui être utile.

### 1.6.3 Options liées à la pression d’une touche de clavier : TODO !

Une autre idée d’implémentation est de proposer des options en fonction d’un bouton appuyé lorsque le programme est en cours de fonctionnement.

Imaginons par exemple les options suivantes :

- F1 : Help
- F2 : Mettre en pause / Reprendre
- F3 : Afficher / Retirer les codes couleurs

- F4 : Tri en fonction du meilleur temps au tour
- F5 : Tri en fonction du meilleur temps au tour total
- F10 : Quitter

#### **1.6.4 Phase d'essai entièrement libre : TODO !**

Par souci de facilité (et pour se concentrer sur d'autres parties nécessitant plus de temps et de travail), nous avons décidé que les voitures présentes lors d'une séance d'essai libre démarrent toutes comme s'il s'agissait d'une étape classique (une qualification ou une course).

Il serait possible, sans nécessairement y consacrer un temps considérable, de permettre aux différents pilotes de commencer et arrêter leurs séances d'essais libres lorsqu'ils le souhaitent voire même s'ils rouleront lors de la séance. La question concrète serait : *Est-ce que lors de la limite du temps imparti d'une séance d'essais libres, un pilote souhaite prendre le volant ou non et si oui, pour combien de tours ou combien de temps ?*

Cela correspondrait bien plus à une course de Formule 1 en condition réelle.

## 2 Conclusion

### 2.1 Daniel Olivier

L'avantage de ce projet est l'application de concepts multiples vue en cours théorique au courant du premier quadrimestre. Cela nous a permis de comprendre plus concrètement ce que ces concepts permettent de faire (allocation d'une zone mémoire, appel d'une zone mémoire, sémaphores, algorithmes, fork, etc...).

Ce projet nous avait permis d'apprendre à programmer de façon plus assidue. Lors de l'écriture d'une nouvelle méthode, nous testions systématiquement le projet et en cas de problème, nous prenions le temps de relire le code (et si nécessaire, nous testions différentes méthodes pour déboguer et avancer dans le projet). Nous avons rencontré plusieurs difficultés de compréhension par rapport au cahier des charges ainsi que d'autres difficultés rencontrées. Nous avons également découvert l'utilité de l'utilisation de quelques bibliothèques, ainsi que d'une documentation disponible en ligne, nous permettant de mieux comprendre certaines implémentations nécessaires.

### 2.2 Martin Michotte

Étant en année passerelle et donc n'ayant pas encore eu le cours d'OS de première année j'avais quelques craintes concernant la réalisation de ce projet, ou en tout cas de l'aide que je pouvais apporter au groupe.

Heureusement j'avais déjà programmé en C par le passé et il m'a donc fallu peu de temps pour réacquiescer les bases. Cependant je n'avais aucune notion de programmation avec la gestion de multiples processus. J'ai dès lors du comprendre par moi-même le fonctionnement d'un fork() et de toutes ses contraintes ainsi que la gestion de la concurrence inter-processus.

Une fois à jour avec les autres membres du groupe j'ai pu participer activement à la réalisation du projet.

Concernant le projet de manière globale, bien qu'à première vue celui-ci paraissait complexe, une fois décortiqué en plusieurs petits morceaux logiques, je ne le trouvais pas d'une grande difficulté. Bien évidemment nous avons rencontré quelques soucis mais aucun n'était insurmontable. L'utilisation de la mémoire partagée et des sémaphores était quelque chose d'un peu mystérieux au départ mais après avoir bien compris leur fonctionnement et après les avoir implémentés de manière adéquate, il s'est avéré que ceux-ci sont indispensables et assez simples d'utilisation.

Je peux donc conclure en disant que la difficulté de ce projet résidait pour moi dans le fait de devoir me mettre à niveau par rapport aux autres et dans la décomposition du projet en blocs logiques simples.

Ce projet m’a aussi permis d’apprécier un peu plus la programmation en C qui, auparavant, ne me plaisait qu’à moitié.

### **2.3 Morgan Valentin**

Le projet est une bonne idée pour mettre en pratique ce qu’on voit en théorie, malgré qu’il m’aurais fallu un plus de cour théorique. Étant plutôt lent à programmer, j’aurais aimer avoir un quadrimestre dédié au langage C et au second quadrimestre avoir le projet afin de maximiser ma compréhension de la matière.

### **2.4 Martin Perdaens**

Etant en première et deuxième année de TI et n’ayant pas eu le cours de OS de première année et ayant très peu programmer en C j’avais des craintes sur la réalisation du projet, surtout au niveau de mon aide au sein du groupe. Le plus dur était de comprendre comment le `fork()` et le fonctionnement de plusieurs processus tournant en même temps. Mais en sachant comment fonctionne la formule 1 cela m’a aidé pour la compréhension du projet, donc je pouvais plus me concentrer sur la programmation.

Grâce aux autres membres j’ai pu mieux comprendre comment le langage C fonctionne et l’apprendre à mon rythme tout en essayant de comprendre les différentes caractéristique de ce langage. Pour conclure le gros problème pour moi dans ce projet était de me mettre à niveau par rapport au autres membres du groupe, ce projet m’a permit d’apprendre un langage que je connaissais très peu et dans un future proche faire d’autres projets en C.

### 3 Exemple du code

**Listing 11 :** child.c

```

1  #include "child.h"
2
3  int time_passed = 0;
4  int current_lap = 0;
5  F1_Car *vehicle;
6  Circuit circuit;
7
8  /*****
9  *          Gestion de crash d'une voiture          *
10 *****/
11
12 void car_crash() {
13     if (car_crashed(100000000))
14         vehicle->out = 1;
15     else
16         vehicle->out = 0;
17 }
18
19 /*****
20 *          Terminaison d'une étape          *
21 *****/
22
23 int finished_running() {
24     if (!strcmp(circuit.step_name, "RACE")) {
25         return current_lap == circuit.number_of_laps;
26     } else {
27         return time_passed >= circuit.step_total_time;
28     }
29 }
30
31 /***** fonction qui permet aux voitures de n'est pas courir à la même vitesse *****/
32
33 int msleep(unsigned int tms) {
34     return usleep(tms * 1000);
35 }
36
37 /** la fonction child fait tout ce qu'une voiture a à faire.
38  *  càd tout ce qui est géré par l'enfant/voiture
39
40  * @param sem_t *sem c'est un sémaphore qui permet aux fils de n'est pas
41     écrire en même temps
42
43     dans la mémoire partagée. Techniquement ils peuvent
44     mais on a choisi de procéder ainsi.

```

```
42  *@param F1_Car *car c'est la variable de type F1_Car qui pointe vers la
    mémoire partagée où les fils écrivent.
43  *@param int *car_names c'est la variable qui pointe vers le(s) tableau(
    x) qui contient les id.
44  */
45  void child(sem_t *sem, F1_Car *car, int *car_names) {
46
47      random_seed(getpid());
48      vehicle = car;
49      vehicle->id = *car_names;
50
51      while (!finished_running()) {
52
53          //(!strcmp(circuit.step_name, "RACE")) ? sleep(10) : 0;
54
55          sem_wait(sem);
56          vehicle->s1 = sector_range(30, 45, 100000000);
57          if (vehicle->best_s1 == 0 || vehicle->best_s1 > vehicle->s1) {
58              vehicle->best_s1 = vehicle->s1;
59          }
60          car_crash();
61          sem_post(sem);
62
63          sem_wait(sem);
64          vehicle->s2 = sector_range(30, 45, 100000000);
65          if (vehicle->best_s2 == 0 || vehicle->best_s2 > vehicle->s2) {
66              vehicle->best_s2 = vehicle->s2;
67          }
68          car_crash();
69          sem_post(sem);
70
71          sem_wait(sem);
72          vehicle->s3 = sector_range(30, 45, 100000000);
73
74          int i = 1;
75          vehicle->stand = 0;
76          while (stand_probability(10)) {
77
78              vehicle->s3 += stand_duration(1, 100);
79              i++;
80              vehicle->stand = 1;
81          }
82          if (vehicle->best_s3 == 0 || vehicle->best_s3 > vehicle->s3) {
83              vehicle->best_s3 = vehicle->s3;
84          }
85          car_crash();
86          msleep(80);
87
88          vehicle->lap_time = vehicle->s1 + vehicle->s2 + vehicle->s3;
```

```
89         time_passed += vehicle->lap_time;
90
91         if (vehicle->best_lap_time == 0 ||
92             vehicle->best_lap_time > vehicle->lap_time)
93             vehicle->best_lap_time = vehicle->lap_time;
94         vehicle->lap++;
95         current_lap = vehicle->lap;
96         (time_passed >= circuit.step_total_time || current_lap ==
97             circuit.number_of_laps) ? vehicle->done = 1 : 0;
98         sem_post(sem);
99         sleep(1);
100     }
```

**Listing 12 :** child.h

```
1  //
2  // Created by danny on 2/10/19.
3  //
4  #pragma once
5
6  #include "time.h"
7  #include "prng.h"
8  #include <semaphore.h>
9  #include <time.h>
10 #include <sys/shm.h>
11 #include <sys/sem.h>
12 #include <sys/ipc.h>
13 #include <sys/types.h>
14 #include <stdbool.h>
15 #include <sys/types.h>
16 #include <stdio.h>
17 #include <unistd.h>
18 #include <string.h>
19
20 #define NUMBER_OF_CARS 20
21
22 typedef struct Circuit {
23     char *step_name;
24     int step_total_time;
25     int number_of_laps;
26     int lap_km;
27     int number_of_cars;
28     int race_km;
29 } Circuit;
30
31
32 typedef struct F1_Car {
33     int id;
```



```

34     double lap_time;
35     double s1;
36     double s2;
37     double s3;
38     int best_s1;
39     int best_s2;
40     int best_s3;
41     int stand;
42     int out;
43     int lap;
44     int best_lap_time;
45     int done;
46 } F1_Car;
47
48 void child(sem_t *sem, F1_Car *car, int *car_names);
49
50 void car_crash();
51
52 int finished_running();
53
54 int msleep(unsigned int tms);

```

Listing 13 : display.c

```

1  //
2  // Created by danny on 5/10/19.
3  //
4
5  #include "display.h"
6
7
8  Circuit circuit;
9  F1_Car car_array[20];
10
11  /*****
12  *                               Gestion de trie                               *
13  *****/
14
15  int compare(const void *left, const void *right) {
16      const F1_Car *process_a = (F1_Car *) left;
17      const F1_Car *process_b = (F1_Car *) right;
18
19      if (strcmp(circuit.step_name, "RACE")) {
20          if (process_a->best_lap_time < process_b->best_lap_time)
21              return -1;
22          else if (process_a->best_lap_time > process_b->best_lap_time)
23              return 1;
24          else
25              return 0;

```

```
26     } else {
27         if (process_a->lap < process_b->lap)
28             return 1;
29         else if (process_a->lap > process_b->lap)
30             return -1;
31         else
32             return 0;
33     }
34 }
35
36 /*****
37  *                               Affichage                               *
38  *****/
39
40 void print_table() {
41
42     /***** Création de la table *****/
43     ft_table_t *table = ft_create_table();
44
45     /***** Style des bordures *****/
46     ft_set_border_style(table, FT_DOUBLE2_STYLE);
47
48     /***** Style des titres/headers de la table *****/
49     ft_set_cell_prop(table, 0, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_ROW_TYPE,
50                     FT_ROW_HEADER);
51     ft_set_cell_prop(table, 0, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_CELL_TEXT_STYLE,
52                     FT_TSTYLE_BOLD);
53     ft_set_cell_prop(table, 0, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_CONT_FG_COLOR,
54                     FT_COLOR_CYAN);
55
56     ft_write_ln(table, "POSITION", "NAME", "S1", "S2", "SS3", "OUT", "
57                     PIT", "LAP", "LAP TIME", "BEST LAP TIME");
58
59     for (int i = 0; i < circuit.number_of_cars; i++) {
60         F1_Car current = car_array[i];
61
62         char sector1_time[10], sector2_time[10], sector3_time[10],
63             lap_time[10], best_lap_time[10];
64
65         /***** Formatage du temps *****/
66         to_string(current.s1, sector1_time);
67         to_string(current.s2, sector2_time);
68         to_string(current.s3, sector3_time);
69         to_string(current.lap_time, lap_time);
70         to_string(current.best_lap_time, best_lap_time);
71
72         /***** Affichage des données dans la variable table *****/
73         ft_printf_ln(table, "%d|%d|%.6s|%.6s|%.6s|%d|%d|%d|%.7s|%.7s",
```

```
        i + 1,
69         current.id, sector1_time, sector2_time,
           sector3_time, current.out,
70         current.stand, current.lap, lap_time,
           best_lap_time);
71
72         /***** Style pour le(s) voiture(s) au pit *****/
73         (current.stand)
74         ? ft_set_cell_prop(table, i + 1, FT_ANY_COLUMN,
           FT_CPROP_CONT_FG_COLOR, FT_COLOR_DARK_GRAY)
75         : ft_set_cell_prop(table, i + 1, 6, FT_CPROP_CONT_FG_COLOR,
           FT_COLOR_LIGHT_GRAY);
76     }
77     /***** Style pour les premiers voitures *****/
78     ft_set_cell_prop(table, 1, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_CONT_FG_COLOR,
       FT_COLOR_LIGHT_GREEN);
79     ft_set_cell_prop(table, 2, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_CONT_FG_COLOR,
       FT_COLOR_LIGHT_BLUE);
80     ft_set_cell_prop(table, 3, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_CONT_FG_COLOR,
       FT_COLOR_LIGHT_YELLOW);
81
82     /***** Deuxième table à afficher *****/
83
84     ft_table_t *second_table = ft_create_table();
85     ft_write_ln(second_table, "SECTORS", "NAME", "TIME");
86     ft_set_border_style(second_table, FT_DOUBLE2_STYLE);
87
88     ft_set_cell_prop(second_table, 0, FT_ANY_COLUMN, FT_CPROP_ROW_TYPE,
       FT_ROW_HEADER);
89     ft_set_cell_prop(second_table, 0, FT_ANY_COLUMN,
       FT_CPROP_CELL_TEXT_STYLE, FT_TSTYLE_BOLD);
90     ft_set_cell_prop(second_table, 0, FT_ANY_COLUMN,
       FT_CPROP_CONT_FG_COLOR, FT_COLOR_CYAN);
91
92     char s1_time[10], s2_time[10], s3_time[10], winner[10];
93
94     to_string(car_array[best_sector("S1")].best_s1, s1_time);
95     to_string(car_array[best_sector("S2")].best_s2, s2_time);
96     to_string(car_array[best_sector("S3")].best_s3, s3_time);
97     to_string(car_array[best_car()].best_lap_time, winner);
98
99     ft_printf_ln(second_table, "%s|%d|%s", "S1", car_array[best_sector(
       "S1")].id, s1_time);
100    ft_printf_ln(second_table, "%s|%d|%s", "S2", car_array[best_sector(
       "S2")].id, s2_time);
101    ft_printf_ln(second_table, "%s|%d|%s", "S3", car_array[best_sector(
       "S3")].id, s3_time);
102
103    /***** Affichage du gagnant lors de la course de dimanche
```

```

    *****/
104  (!strcmp(circuit.step_name, "RACE")) ?
105  ft_printf_ln(second_table, "%s|%d|%.7s", "Winner", car_array[
    best_car()].id, winner) : 0;
106
107  /***** Rafraichissement des données *****/
108  clear();
109
110  /***** Affichage de la variable table et second_table en
    console *****/
111  printf("%s", ft_to_string(table));
112  printf("%s", ft_to_string(second_table));
113
114  /***** Destruction de deux tables *****/
115  ft_destroy_table(table);
116  ft_destroy_table(second_table);
117 }
118
119 /** la fonction best_sector sert à trouver qui a le meilleur temps dans
    chacun des secteurs.
120
121 *@param char sector[] c'est nom du sector.
122 *@return int id c'est une variable qui contient l'id de la voiture qui
    a le meilleur temps dans un sector donné.
123 */
124
125 int best_sector(char sector[]) {
126     int sector_number = 0, id = 0;
127     for (int i = 0; i < circuit.number_of_cars; i++) {
128
129         if (!strcmp(sector, "S1")) {
130             if (sector_number == 0 || car_array[i].best_s1 <
                sector_number) {
131                 sector_number = car_array[i].best_s1;
132                 id = i;
133             }
134         } else if (!strcmp(sector, "S2")) {
135             if (sector_number == 0 || car_array[i].best_s2 <
                sector_number) {
136                 sector_number = car_array[i].best_s2;
137                 id = i;
138             }
139         } else if (!strcmp(sector, "S3")) {
140             if (sector_number == 0 || car_array[i].best_s3 <
                sector_number) {
141                 sector_number = car_array[i].best_s3;
142                 id = i;
143             }
144         }
    }
}
```

```
145     }
146     return id;
147 }
148
149 /** la fonction best_car sert à trouver qui a le tour le plus rapide à
    la fin du grand prix.
150
151 *@return int id c'est une variable qui contient l'id de la voiture qui
    a le meilleur tour.
152 */
153
154 int best_car() {
155     int win = 0, id = 0;
156     for (int i = 0; i < circuit.number_of_cars; i++) {
157         if (win == 0 || car_array[i].best_lap_time < win) {
158             win = car_array[i].best_lap_time;
159             id = i;
160         }
161     }
162     return id;
163 }
164
165 /** la fonction best_car sert à trouver quel voiture a crash/ out de la
    course.
166
167 *@return une variable positif s'il y a une voiture est out sinon la
    valeur 0 est retournée.
168 */
169
170 int finished() {
171     for (int i = 0; i < circuit.number_of_cars; ++i) {
172         if (car_array[i].out) {
173             return 1;
174         }
175     }
176     return 0;
177 }
178
179 /** la fonction display sert à afficher et trier les données se
    trouvant dans la mémoire partagée.
180 * Avant de trier les données on fait une copie, puis on trie la copie
    , à la fin on sauvegarde
181 * le fichier qui aura comme nom l'étape en exécution.
182
183 *@param sem_t *sem c'est un sémaphore pour sécuriser les données lors
    de la copie.
184 *@param F1_Car *data c'est la variable de type F1_Car qui pointe vers
    la mémoire partagée.
185 */
```

```
186
187 void display(sem_t *sem, F1_Car *data) {
188
189     init_window();
190
191     while (1) {
192         sem_wait(sem);
193         memcpy(car_array, data, sizeof(F1_Car) * circuit.number_of_cars
194             );
195         sem_post(sem);
196         qsort(car_array, circuit.number_of_cars, sizeof(F1_Car),
197             compare);
198         if (finished() || car_array[9].done) {
199             break;
200         }
201         print_table();
202         sleep(1);
203     }
204     save_ranking();
205     terminate_window();
206 }
```

**Listing 14 :** display.h

```
1 //
2 // Created by danny on 5/10/19.
3 //
4
5 #pragma once
6
7 #include <semaphore.h>
8 #include "child.h"
9 #include "window.h"
10 #include "time.h"
11 #include "files.h"
12 #include "../lib/fort.h"
13 #include <stdio.h>
14 #include <string.h>
15 #include <unistd.h>
16
17 void display(sem_t *_sem, F1_Car *data);
18 int compare(const void *left, const void *right);
19 int best_sector(char sector[]);
20 int best_car();
```

**Listing 15 :** files.c

```
1 //
2 // Created by danny on 26/10/19.
3 //
4
5 #include "files.h"
6
7
8 Circuit circuit;
9 Fl_Car car_array[20];
10
11 /** la fonction save_ranking créer un fichier qui a comme nom l'étape
12  * en exécution. Ce fichier est créé à la fin de l'étape.
13  */
14
15 void save_ranking() {
16
17     FILE *file = fopen(circuit.step_name, "w");
18
19     if (file == NULL) perror("fopen failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
20
21     for (int i = 0; i < circuit.number_of_cars; i++) {
22         char best_lap_str[10];
23         to_string(car_array[i].best_lap_time, best_lap_str);
24         fprintf(file, "%d --> %s\n", car_array[i].id, best_lap_str);
25     }
26
27     if (fclose(file) != 0) perror("fclose failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
28 }
29
30 /** la fonction read_files lit un fichier passé en paramètre pour
31  * stocker les qualifiés et
32  * les éliminés dans les tableaux passé en paramètre également.
33  * @param int qualified_cars[] un tableau pour stocker les voitures
34  * qualifiés
35  * @param int race_ranking[] un tableau pour stocker les voitures en
36  * fonction du classement de dimanche
37  * @param int last_cars_of_Q1[] un tableau pour stocker les éliminés de
38  * Q1
39  * @param int last_cars_of_Q2[] un tableau pour stocker les éliminés de
40  * Q2
41  * @param char file_to_read[] le fichier à lire.
42  * @param int lines_to_read le nombre de lignes à lire dans ce fichier
43  * passé en paramètre.
44  */
45 void
```

```
43 read_files(int qualified_cars[], int race_ranking[], int
    last_cars_of_Q1[], int last_cars_of_Q2[], char file_to_read[],
44         int lines_to_read) {
45
46     int file_size = find_size(file_to_read);
47     char absolute_path[file_size];
48     getcwd(absolute_path, file_size);
49     char full_absolute_path[file_size];
50     sprintf(full_absolute_path, "%s/%s", absolute_path, file_to_read);
51
52     FILE *cmd;
53     char result[NUMBER_OF_CARS];
54     char grep_file_result[file_size];
55     sprintf(grep_file_result, "egrep -o '^[0-9]{1,2}' '%s'",
        full_absolute_path);
56
57     cmd = popen(grep_file_result, "r");
58     if (cmd == NULL) perror("popen failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
59
60     int i = 0, j = 0, k = 0;
61     while (fgets(result, sizeof(result), cmd)) {
62
63         if (i < lines_to_read) {
64             qualified_cars[i] = atoi(result);
65             if (strcmp(file_to_read, "Q3") == 0) {
66                 race_ranking[i] = atoi(result);
67             }
68             i++;
69         } else {
70             if (strcmp(file_to_read, "Q1") == 0) {
71                 last_cars_of_Q1[j] = atoi(result);
72                 j++;
73             } else if (strcmp(file_to_read, "Q2") == 0) {
74                 last_cars_of_Q2[k] = atoi(result);
75                 k++;
76             }
77         }
78     }
79
80     if (pclose(cmd) != 0) perror("pclose failed !"), exit(EXIT_FAILURE)
        ;
81 }
82
83 /** la fonction find_size calcule la taille du fichier passé en paramé
    tre
84
85 *@param char *file_name le fichier à lire.
86 *@return int size qui est la taille du fichier.
87 */
```



```
88
89 int find_size(char *file_name) {
90     FILE *file = fopen(file_name, "r");
91
92     if (file == NULL) {
93         printf("%s '%s' %s", "File previous to", circuit.step_name, "
94             NOT found !\n"), exit(EXIT_FAILURE);
95     }
96
97     fseek(file, 0L, SEEK_END);
98
99     int size = ftell(file);
100    if (fclose(file) != 0) perror("fclose failed !"), exit(EXIT_FAILURE
101        );
102    return size;
103 }
104 /** la fonction save_eliminated_cars sauvegarde les voitures éliminés
105     dans un fichier.
106
107     *@param char file_to_save[] le fichier qui va contenir les voitures é
108     liminés.
109     *@param int array[] le tableau qui contient les voitures éliminés.
110     */
111 void save_eliminated_cars(char file_to_save[], int array[]) {
112     FILE *file = fopen(file_to_save, "w");
113
114     if (file == NULL)
115         perror("fopen failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
116
117     for (int i = 0; i < 5; i++) {
118         fprintf(file, "%d\n", array[i]);
119     }
120
121     if (fclose(file) != 0)
122         perror("fclose failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
123 }
124 /** la fonction read_eliminated_cars lit les voitures éliminés depuis
125     un fichier
126     * vers un tableau qui va contenir le classement de la course de
127     dimanche.
128
129     *@param char file_to_read[] le fichier à lire qui contient les éliminés
130     *@param int array[] le tableau qui contient le classement de la course
131     de dimanche.
132     */
```

```
130
131 void read_eliminated_cars(char file_to_read[], int array[]) {
132
133     char results[5];
134
135     FILE *file = fopen(file_to_read, "r");
136
137     if (file == NULL) perror("fopen failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
138
139     int i = 15, j = 10;
140     while (fgets(results, sizeof(results), file)) {
141
142         if (strcmp(file_to_read, "lastQ1") == 0) {
143             array[i] = atoi(results);
144             i++;
145         }
146
147         if (strcmp(file_to_read, "lastQ2") == 0) {
148             array[j] = atoi(results);
149             j++;
150         }
151     }
152
153     if (fclose(file) != 0)
154         perror("fclose failed !"), exit(EXIT_FAILURE);
155 }
```

Listing 16 : files.h

```
1 #pragma once
2
3 #include "child.h"
4 #include "window.h"
5 #include "time.h"
6 #include "../lib/fort.h"
7 #include <stdio.h>
8 #include <string.h>
9 #include <unistd.h>
10 #include <semaphore.h>
11
12 void save_ranking();
13
14 int find_size(char *file_name);
15
16 void read_files(int qualified_cars[], int race_ranking[], int
    last_cars_of_Q1[], int last_cars_of_Q2[], char file[], int
    lines_to_read);
17
18 void save_eliminated_cars(char file_to_save[], int array[]);
```

```

19
20 void read_eliminated_cars(char file_to_read[], int array[]);

```

**Listing 17 :** main.c

```

1  #include "child.h"
2  #include "display.h"
3  #include <getopt.h>
4  #include <locale.h>
5  #include <stdio.h>
6  #include <stdlib.h>
7  #include <sys/wait.h>
8  #include <unistd.h>
9
10 Circuit circuit;
11 F1_Car *car;
12
13 /***** Tableau par défaut des id des voitures si on est ni au Q2,
    Q3, RACE *****/
14 int car_names[NUMBER_OF_CARS] = {44, 77, 5, 7, 3, 33, 11, 31, 18, 35,
15                                   27, 55, 10, 28, 8, 20, 2, 14, 9, 16};
16
17 /**
18  * qualified_cars va stocker les voitures qualifiés.
19  * race_ranking va stocker le classement désiré pour la course de
    dimanche.
20  * last_cars_of_Q1 va stocker les éliminés au Q1.
21  * last_cars_of_Q2 va stocker les éliminés au Q2.
22  */
23 int qualified_cars[15], race_ranking[20], last_cars_of_Q1[15],
    last_cars_of_Q2[10];
24
25 /***** Gestion d'erreur dans le paramétrage du programme *****/
    */
26
27 void print_usage() {
28     printf("%s", "Usage: ./prog --day [dayName] --step [stepName]\n");
29     printf("%s", "Usage: For race you can specify the lap length, by
        default it's 7km !\n");
30     printf("%s", "Usage: ./prog --day [dayName] --step [stepName] --
        length [number]\n");
31     printf("%s", "Use the --help command for more information. \n");
32     exit(EXIT_FAILURE);
33 }
34
35 /***** Manuel du programme *****/
36
37 void help() {
38     printf("\n%s\n\n", "These are some commands used to run this

```

```

        program.");
39     printf("%s\n", "For P sessions : \t There are run on fridays but P3
        on sat. Use the --day command.");
40     printf("%s\n", "\t\t\t followed by a day name and which step needs
        to be runned for the P sessions.");
41     printf("%s\n\n", "\t\t\t --day fri --step P2 for instance.");
42     printf("%s\n", "For Q sessions : \t There are run on Saturdays, use
        the --day command.");
43     printf("%s\n", "\t\t\t followed by a day name and which step needs
        to be runned for the Q sessions.");
44     printf("%s\n\n", "\t\t\t --day sat --step Q3 for instance.");
45     printf("%s\n", "For the RACE session : \t It's run on Sundays, use
        the --day command.");
46     printf("%s\n", "\t\t\t followed by a day name. Here you can specify
        the race's lap length.");
47     printf("%s\n", "\t\t\t by default it's 7km, the --length command is
        optional.");
48     printf("%s\n\n", "\t\t\t --day sun --step RACE --length 10 for
        instance. ");
49     exit(EXIT_SUCCESS);
50 }
51
52 int main(int argc, char **argv) {
53
54     signal(SIGINT, return_cursor);
55
56     //valeurs par défaut
57     circuit.lap_km = 7;
58     circuit.race_km = 305;
59
60     /*****
61     *           Paramétrage du programme           *
62     *****/
63
64     int user_km = 0;
65     char day_name[5], step_name[5];
66
67     static struct option long_options[] = {"day",      required_argument
        , NULL, 'd'},
68                                           {"step",     required_argument
        , NULL, 's'},
69                                           {"length",   required_argument
        , NULL, 'l'},
70                                           {"help",     no_argument, 0,
        'h'},
71                                           {NULL, 0,
        NULL,
72                                           0}};

```

```
73     char opt;
74     while ((opt = getopt_long(argc, argv, "hd:s:l:", long_options, NULL
75         )) != EOF) {
76         switch (opt) {
77             case 'h':
78                 help();
79                 break;
80             case 'd':
81                 strcpy(day_name, optarg);
82                 break;
83             case 's':
84                 strcpy(step_name, optarg);
85                 break;
86             case 'l':
87                 user_km = atoi(optarg);
88                 break;
89             default:
90                 print_usage();
91         }
92     }
93     /***** Friday *****/
94     if (!strcmp(day_name, "fri")) {
95         if (!strcmp(step_name, "P1")) {
96             /***** Assignment du nbr de voitures, du nom de l'é
97                 tape et le temps de l'étape *****/
98             circuit = (Circuit) {.number_of_cars = 20, .step_name = "P1
99                 ", .step_total_time = minutes_to_ms(90)};
100         } else if (!strcmp(step_name, "P2")) {
101             circuit = (Circuit) {.number_of_cars = 20, .step_name = "P2
102                 ", .step_total_time = minutes_to_ms(90)};
103         } else {
104             print_usage();
105         }
106     }
107     /***** Saturday *****/
108     } else if (!strcmp(day_name, "sat")) {
109         if (!strcmp(step_name, "P3")) {
110             circuit = (Circuit) {.number_of_cars = 20, .step_name = "P3
111                 ", .step_total_time = minutes_to_ms(60)};
112         } else if (!strcmp(step_name, "Q1")) {
113             circuit = (Circuit) {.number_of_cars = 20, .step_name = "Q1
114                 ", .step_total_time = minutes_to_ms(18)};
115         } else if (!strcmp(step_name, "Q2")) {
116             circuit = (Circuit) {.number_of_cars = 15, .step_name = "Q2
117                 ", .step_total_time = minutes_to_ms(15)};
118             /***** Lecture des 15 premiers voitures au Q1 *****/
119             */
120             read_files(qualified_cars, race_ranking, last_cars_of_Q1,
```

```
        last_cars_of_Q2, "Q1", 15);
114     } else if (!strcmp(step_name, "Q3")) {
115         circuit = (Circuit) {.number_of_cars = 10, .step_name = "Q3",
116                             .step_total_time = minutes_to_ms(12)};
117         /***** Lecture des 10 premiers voitures au Q2 *****/
118         read_files(qualified_cars, race_ranking, last_cars_of_Q1,
119                   last_cars_of_Q2, "Q2", 10);
120     } else {
121         print_usage();
122     }
123     /***** Sunday *****/
124 } else if (!strcmp(day_name, "sun")) {
125     if (!strcmp(step_name, "RACE")) {
126         /***** Assignment du nbr de voitures, du nom de l'étape et le temps de l'étape *****/
127         circuit.number_of_cars = 20;
128         circuit.step_name = "RACE";
129         circuit.step_total_time = minutes_to_ms(120);
130         /***** Lecture des 10 premiers voitures au Q3 *****/
131         read_files(qualified_cars, race_ranking, last_cars_of_Q1,
132                   last_cars_of_Q2, "Q3", 10);
133         /***** Lecture du fichier lastQ2 et attribution de la 10  me    la 15  me place *****/
134         read_eliminated_cars("lastQ2", race_ranking);
135         /***** Lecture du fichier lastQ1 et attribution de la 15  me    la 20  me place *****/
136         read_eliminated_cars("lastQ1", race_ranking);
137         /***** Lecture du fichier Q3 et attribution de la 1  re    la 10  me place *****/
138         read_eliminated_cars("Q3", race_ranking);
139         /***** La longueur du circuit est 7km *****/
140         if (user_km == 0) {
141             circuit.number_of_laps = circuit.race_km / circuit.lap_km;
142             /***** La longueur du circuit a été changé par l'  utilisateur *****/
143         } else if (user_km > 0) {
144             circuit.number_of_laps = circuit.race_km / user_km;
145         } else {
146             print_usage();
147         }
148     }
149 }
150
```

```

151         }
152     } else {
153         print_usage();
154     }
155 } else {
156     print_usage();
157 }
158
159 /*****
160  *                               *
161  *****/
162
163 /***** Si on est au Q2, les éliminés du Q1 sont sauvegardés dans
164         le fichier lastQ1 *****/
165 !strcmp(circuit.step_name, "Q2") ?
166 save_eliminated_cars("lastQ1", last_cars_of_Q1) :
167
168 /***** Si on est au Q3, les éliminés du Q2 sont sauvegardés dans
169         le fichier lastQ2 *****/
170 !strcmp(circuit.step_name, "Q3") ?
171 save_eliminated_cars("lastQ2", last_cars_of_Q2) :
172 NULL;
173
174 /*****
175  *                               *
176  *****/
177
178 int struct_shm_id = shmget(IPC_PRIVATE, sizeof(F1_Car) * circuit.
179                             number_of_cars, 0600 | IPC_CREAT);
180 if (struct_shm_id == -1) {
181     perror("shmget failed !");
182     exit(EXIT_FAILURE);
183 }
184
185 car = shmat(struct_shm_id, NULL, 0);
186 if (car == (void *) (-1)) {
187     perror("shmat failed !");
188     exit(EXIT_FAILURE);
189 }
190
191 /*****
192  *                               *
193  *****/
194
195 int sem_shm_id = shmget(IPC_PRIVATE, sizeof(sem_t), 0600 |
196                         IPC_CREAT);
197 if (sem_shm_id == -1) {
198     perror("shmget failed !");
199     exit(EXIT_FAILURE);

```

```

196     }
197     sem_t *sem = shmat(sem_shm_id, NULL, 0);
198     if (sem == (void *) (-1)) {
199         perror("shmat failed !");
200         exit(EXIT_FAILURE);
201     }
202
203     sem_init(sem, 1, 1);
204
205     /*****
206      *          Création des fils/voitures          *
207      *****/
208
209     int i;
210     pid_t pid = 0;
211     for (i = 0; i < circuit.number_of_cars; i++) {
212         pid = fork();
213         if (pid == 0)
214             break;
215     }
216
217     switch (pid) {
218
219         case -1:
220             /***** échec du fork *****/
221             fprintf(stderr, "fork failed !");
222             exit(EXIT_FAILURE);
223
224         case 0:
225             /***** Si on est au Q2 ou Q3 attribution des id par le
226              * tableau des qualifiés *****/
227             (!strcmp(circuit.step_name, "Q2") || !strcmp(circuit.
228                 step_name, "Q3")) ?
229             child(sem, &car[i], &qualified_cars[i]) :
230
231             /***** Si on est au RACE attribution des id par le
232              * tableau race_ranking *****/
233             !strcmp(circuit.step_name, "RACE") ?
234             child(sem, &car[i], &race_ranking[i]) :
235
236             /***** Si on est aux autres étapes attribution des id
237              * par le tableau car_names *****/
238             child(sem, &car[i], &car_names[i]);
239
240             exit(EXIT_SUCCESS);
241
242         default:
243             /***** Appel de la fonction display qui va afficher les
244              * données *****/

```



```

240         display(sem, car);
241
242         /***** wait for children to finish *****/
243         for (int j = 0; j < circuit.number_of_cars; j++) {
244             wait(NULL);
245         }
246     }
247     /***** Détachement des segments de mémoire *****/
248     shmdt(car);
249
250     /***** Supprimer la mémoire partagée *****/
251     shmctl(struct_shm_id, IPC_RMID, NULL);
252
253     /***** Destruction des sémaphores *****/
254     sem_destroy(sem);
255     shmdt(sem);
256     shmctl(sem_shm_id, IPC_RMID, NULL);
257     exit(EXIT_SUCCESS);
258 }

```

Listing 18 : prng.c

```

1
2 #include "prng.h"
3
4 /***** Création des temps des différentes pour les voitures *****/
5 void random_seed(unsigned int seed) { srand(seed); }
6
7 /***** la probabilité d'aller au stand *****/
8 int sector_range(int min, int max, int crashing_probability) {
9     car_crashed(crashing_probability);
10    return rand() % (max * 1000 + 1 - min * 1000) + min * 1000;
11 }
12
13 /***** le temps passé au stand *****/
14 int stand_duration(int min, int max) {
15     return rand() % (max * 1000 + 1 - min * 1000) + min * 1000;
16 }
17
18 /***** la probabilité d'aller au stand *****/
19 int stand_probability(int seed) { return rand() % seed == 0; }
20
21 /***** runs in a certain probability, like 1/seed *****/
22 int car_crashed(unsigned int seed) { return rand() % seed == 0; }

```

Listing 19 : prng.h

```
1 //
2 // Created by danny on 4/10/19.
3 //
4
5 #pragma once
6
7 #include <stdlib.h>
8
9 void random_seed(unsigned int seed);
10
11 int sector_range(int min, int max, int crashing_probability);
12
13 int stand_duration(int min, int max);
14
15 int stand_probability(int seed);
16
17 int car_crashed(unsigned int seed);
```

**Listing 20 :** time.c

```
1 //
2 // Created by danny on 19/10/19.
3 //
4
5 #include "time.h"
6
7 /***** Conversion des données en temps réel *****/
8 Time time_to_ms(int msec) {
9     Time formatted_time;
10     div_t result;
11
12     result = div(msec, 60000);
13     formatted_time.min = result.quot;
14     msec = result.rem;
15
16     result = div(msec, 1000);
17     formatted_time.sec = result.quot;
18     msec = result.rem;
19
20     formatted_time.msec = msec;
21     return formatted_time;
22 }
23
24 int minutes_to_ms(int minutes) { return minutes * 60000; }
25
26 /***** Formatage du temps *****/
27 void to_string(int msec, char *str) {
28     Time time = time_to_ms(msec);
29     (time.min) ? sprintf(str, "%d':%d\"%d", time.min, time.sec, time.msec) :
```

```
        msec)
30         : sprintf(str, "%d\\":%d", time.sec, time.msec);
31     }
```

**Listing 21 :** time.h

```
1  #pragma once
2
3  #include <stdio.h>
4  #include <stdlib.h>
5
6  typedef struct Time {
7      int min;
8      int sec;
9      int msec;
10 } Time;
11
12 Time time_to_ms(int msec);
13
14 int minutes_to_ms(int minutes);
15
16 void to_string(int msec, char *str);
```

**Listing 22 :** window.c

```
1
2  #include "window.h"
3
4  void init_window() { printf("\e[?1049h\e[?7l\e[?25l\e[2J\e[1;52r"); }
5
6  void clear() { printf("\e[55H\e[9999C\e[1J\e[1;55r"); }
7
8  void terminate_window() { printf("\e[?7h\e[?25h\e[2J\e[;r\e[?1049l"); }
9
10 void return_cursor() {
11     clear();
12     terminate_window();
13     exit(EXIT_SUCCESS);
14 }
```

**Listing 23 :** window.h

```
1  #pragma once
2
3  #include <stdio.h>
4  #include <stdlib.h>
5
6  void init_window();
```

```
7  
8 void terminate_window();  
9  
10 void clear();  
11  
12 void return_cursor();
```