

OPTIMISATION DE CORSIKA 8



Alice Faure (LUPM)
avec Luisa Arrabito (LUPM), David Parello
(Univ. Perpignan)

CONTEXTE DU PROJET



Contexte – CORSIKA

- CORSIKA (**CO**smic **R**ay **S**imulations for **K**ascade, <https://www.iap.kit.edu/corsika/>) est un programme de **simulation Monte Carlo de cascades atmosphériques**.



Contexte – CORSIKA

- CORSIKA (**CO**smic **R**ay **S**imulations for **K**ascade, <https://www.iap.kit.edu/corsika/>) est un programme de **simulation Monte Carlo** de **cascades atmosphériques**.
- Il est utilisé par CTA et de nombreuses autres communautés.



Contexte – CORSIKA 8

- CORSIKA est écrit en **Fortran** jusqu'à la version 7.
- Une nouvelle version, en **C++17**, est en développement : **CORSIKA 8**
(<https://gitlab.iap.kit.edu/AirShowerPhysics/corsika>)

Contexte – **Projet**

- Un travail d'optimisation de CORSIKA 7 pour CTA avait été entrepris par Luisa Arrabito et David Parello, notamment dans le cadre de la thèse de Matthieu Carrère.
- Cette optimisation se concentrait sur le module gérant la propagation du **photon Cherenkov** (représentant 70% du temps de calcul).



Contexte – **Projet**

- CORSIKA 8 est plus **modulaire** et dispose de nombreuses améliorations (description de l'atmosphère plus précise, propagation dans l'eau et la glace, etc).
- En contrepartie, CORSIKA 8 est pour l'instant beaucoup **plus lent** que CORSIKA 7.
- Le module Cherenkov n'est plus ce qui ralentit le code !

PROFILAGE DE CORSIKA 8

A vertical line is positioned to the right of the text. In the bottom right corner, there is a bright green triangle that appears to be peeling away from the dark blue background.

Profilage – Choix techniques

- Cas d'utilisation choisi : cascade créée par un **proton à 1 TeV avec un angle vertical de 30°** par rapport au télescope.
- Profiler choisi : **perf**

```
aFaure@portable-faure:~/Codes/corsika-build-examples-prof-3$ lscpu
Architecture :                x86_64
Mode(s) opératoire(s) des processeurs : 32-bit, 64-bit
Address sizes:                39 bits physical, 48 bits virtual
Boutisme :                    Little Endian
Processeur(s) :                8
Liste de processeur(s) en ligne : 0-7
Identifiant constructeur :    GenuineIntel
Nom de modèle :                Intel(R) Core(TM) i7-10610U CPU @ 1.80GHz
Famille de processeur :        6
Modèle :                       142
Thread(s) par cœur :          2
Cœur(s) par socket :          4
Socket(s) :                    1
Révision :                     12
Vitesse maximale du processeur en MHz : 4900,0000
Vitesse minimale du processeur en MHz : 400,0000
BogoMIPS :                     4599.93
Drapaux :                      fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr pge mca cmov pat pse36 clflush dts acpi mmx fxsr sse sse2 ss ht tm pbe syscall nx pdpe1gb rdtscp lm constant_tsc art a
rch_perfmon pebs bts rep_good nopl xtopology nonstop_tsc cpuid aperfmperf pni pclmulqdq dtes64 monitor ds_cpl vmx smx est tm2 ssse3 sdbg fma cx16 xtpr pdcm pcid sse4_1
sse4_2 x2apic movbe popcnt tsc_deadline_timer aes xsave avx f16c rdrand lahf_lm abm 3dnowprefetch cpuid_fault epb invpcid_single ssbd ibrs ibpb stibp ibrs_enhanced tp
r_shadow vmmi flexpriority ept vpid ept_ad fsgsbase tsc_adjust bmi1 avx2 smep bmi2 erms invpcid mpx rdseed adx smap clflushopt intel_pt xsaveopt xsavec xgetbv1 xsaves
dtherm ida arat pln pts hwp hwp_notify hwp_act_window hwp_epp md_clear flush_l1d arch_capabilities
```

Profilage – Généralités

- Flags de compilation : -O2 -g ...

```
afaure@portable-faure:~/Codes/corsika-build-examples-prof-3$ perf stat -d bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_8 > std.out
Performance counter stats for 'bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_8':

   13 307,25 msec task-clock                #    0,995 CPUs utilized
         342      context-switches         #   25,700 /sec
           9      cpu-migrations           #    0,676 /sec
        13 644      page-faults            #    1,025 K/sec
   56 974 249 511      cycles                #    4,281 GHz                (62,57%)
  107 813 591 972      instructions          #    1,89  insn per cycle     (75,04%)
   16 533 081 113      branches              #    1,242 G/sec              (75,03%)
    119 458 450      branch-misses        #    0,72% of all branches    (74,99%)
   26 565 493 433      L1-dcache-loads       #    1,996 G/sec              (74,96%)
    675 783 558      L1-dcache-load-misses #    2,54% of all L1-dcache accesses (74,95%)
    38 919 307      LLC-loads             #    2,925 M/sec              (50,01%)
     1 004 399      LLC-load-misses      #    2,58% of all LL-cache accesses (50,06%)

13,372463408 seconds time elapsed

13,279769000 seconds user
 0,027982000 seconds sys
```

Profilage – Généralités

- Flags de compilation : -O2 -g ...

```
afaure@portable-faure:~/Codes/corsika-build-examples-prof-3$ perf stat -d bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_8 > std.out
Performance counter stats for 'bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_8':

   13 307,25 msec task-clock                #    0,995 CPUs utilized
         342      context-switches         #   25,700 /sec
           9      cpu-migrations           #    0,676 /sec
        13 644      page-faults            #    1,025 K/sec
   56 974 249 511    cycles                    #    4,281 GHz                (62,57%)
  107 813 591 972    instructions                #    1,89 insn per cycle      (75,04%)
   16 533 081 113    branches                    #    1,242 G/sec              (75,03%)
    119 458 450      branch-misses           #    0,72% of all branches    (74,99%)
   26 565 493 433    L1-dcache-loads              #    1,996 G/sec              (74,96%)
    675 783 558      L1-dcache-load-misses       #    2,54% of all L1-dcache accesses (74,95%)
    38 919 307      LLC-loads                   #    2,925 M/sec              (50,01%)
     1 004 399      LLC-load-misses            #    2,58% of all LL-cache accesses (50,06%)

13,372463408 seconds time elapsed

13,279769000 seconds user
 0,027982000 seconds sys
```

Profilage – Généralités

- Flags de compilation : -O2 -g ...

```
afaure@portable-faure:~/Codes/corsika-build-examples-prof-3$ perf stat -d bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_8 > std.out
Performance counter stats for 'bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_8':

   13 307,25 msec task-clock                #    0,995 CPUs utilized
         342      context-switches         #   25,700 /sec
           9      cpu-migrations           #    0,676 /sec
        13 644      page-faults            #    1,025 K/sec
   56 974 249 511      cycles                #    4,281 GHz                (62,57%)
  107 813 591 972      instructions          #    1,89  insn per cycle     (75,04%)
   16 533 081 113      branches              #    1,242 G/sec              (75,03%)
    119 458 450      branch-misses         #    0,72% of all branches    (74,99%)
   26 565 493 433      L1-dcache-loads       #    1,996 G/sec              (74,96%)
    675 783 558      L1-dcache-load-misses #    2,54% of all L1-dcache accesses (74,95%)
    38 919 307      LLC-loads              #    2,925 M/sec              (50,01%)
     1 004 399      LLC-load-misses      #    2,58% of all LL-cache accesses (50,06%)

13,372463408 seconds time elapsed

13,279769000 seconds user
 0,027982000 seconds sys
```

Profilage – Généralités

- Flags de compilation : -O2 -g ...

```
afaure@portable-faure:~/Codes/corsika-build-examples-prof-3$ perf stat -M FLOPc bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_11 > std.out
Performance counter stats for 'bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_11':

          0          FP_ARITH_INST_RETIRED.128B_PACKED_SINGLE #          0,41 FLOPc          (55,52%)
    329 927 127      CPU_CLK_UNHALTED.REF_XCLK          (55,52%)
    21 134 335 172    FP_ARITH_INST_RETIRED.SCALAR_DOUBLE          (44,47%)
         5 634 037    FP_ARITH_INST_RETIRED.SCALAR_SINGLE          (44,50%)
    328 540 485      CPU_CLK_UNHALTED.ONE_THREAD_ACTIVE          (44,48%)
          0          FP_ARITH_INST_RETIRED.256B_PACKED_DOUBLE          (44,48%)
    59 095 807 464    CPU_CLK_UNHALTED.THREAD          (55,56%)
         1 385 150 441  FP_ARITH_INST_RETIRED.128B_PACKED_DOUBLE          (55,53%)
          0          FP_ARITH_INST_RETIRED.256B_PACKED_SINGLE          (55,50%)

13,794530837 seconds time elapsed

13,762083000 seconds user
 0,016011000 seconds sys
```

Profilage – Généralités

- Flags de compilation : -O3 -g -mtune=native -march=native -mprefer-vector-width=256 ...

```
afaure@portable-faure:~/Codes/corsika-build-examples-prof-6-opti$ perf stat -M FLOPc bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_4 > std.out
Performance counter stats for 'bin/corsika --pdg 2212 -E 1e3 -z 30 -f hadron_1n_1e3_30z_4':

    0          FP_ARITH_INST_RETIRED.128B_PACKED_SINGLE #          0,46 FLOPc          (55,50%)
 220 202 363    CPU_CLK_UNHALTED.REF_XCLK          (55,50%)
 16 053 625 754  FP_ARITH_INST_RETIRED.SCALAR_DOUBLE          (44,43%)
   5 318 684    FP_ARITH_INST_RETIRED.SCALAR_SINGLE          (44,47%)
 217 356 904    CPU_CLK_UNHALTED.ONE_THREAD_ACTIVE          (44,50%)
   1 195        FP_ARITH_INST_RETIRED.256B_PACKED_DOUBLE          (44,50%)
 39 415 137 516  CPU_CLK_UNHALTED.THREAD          (55,61%)
 922 169 376    FP_ARITH_INST_RETIRED.128B_PACKED_DOUBLE          (55,57%)
   0          FP_ARITH_INST_RETIRED.256B_PACKED_SINGLE          (55,53%)

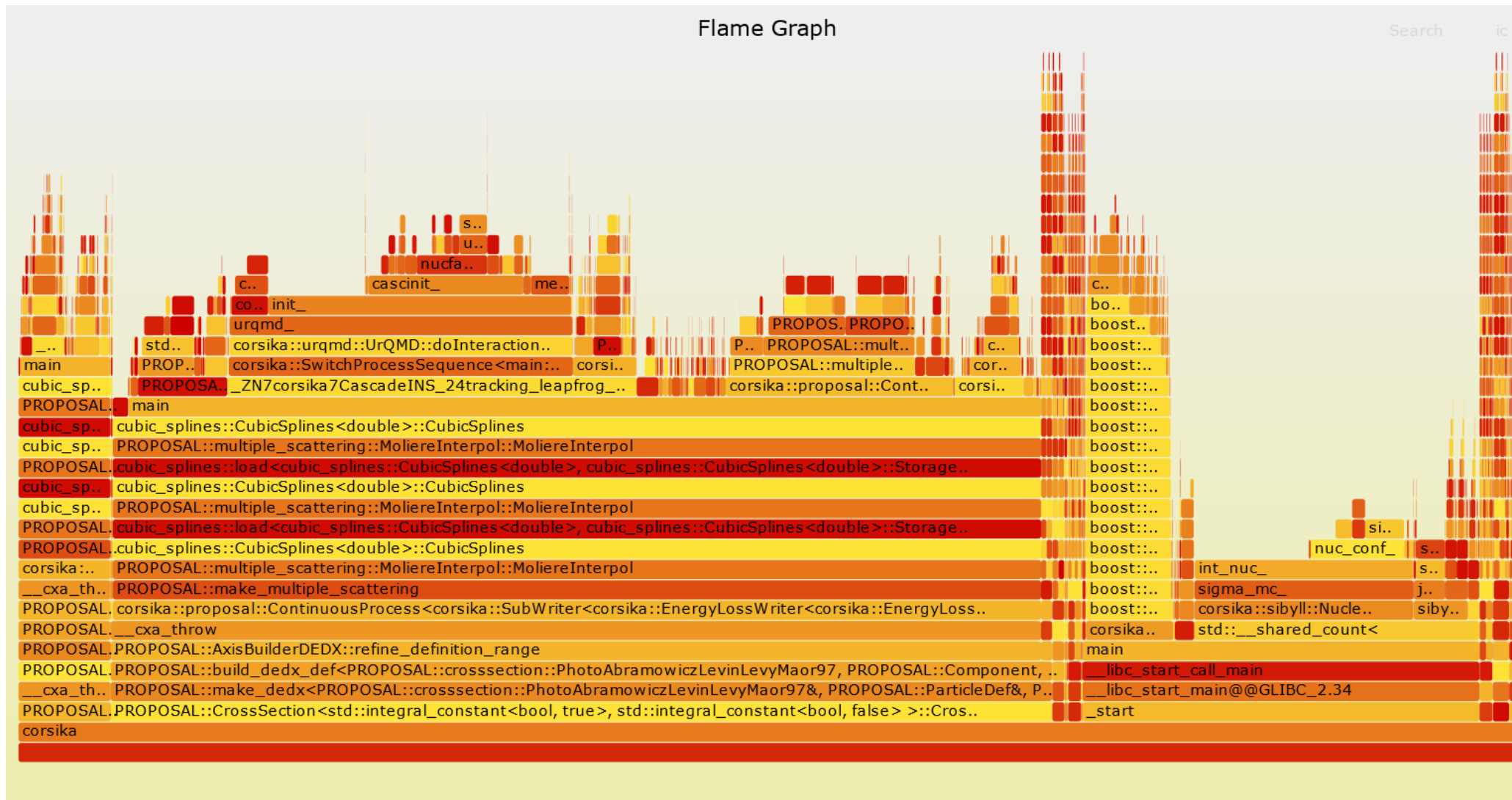
9,205635391 seconds time elapsed

9,173131000 seconds user
0,032003000 seconds sys
```

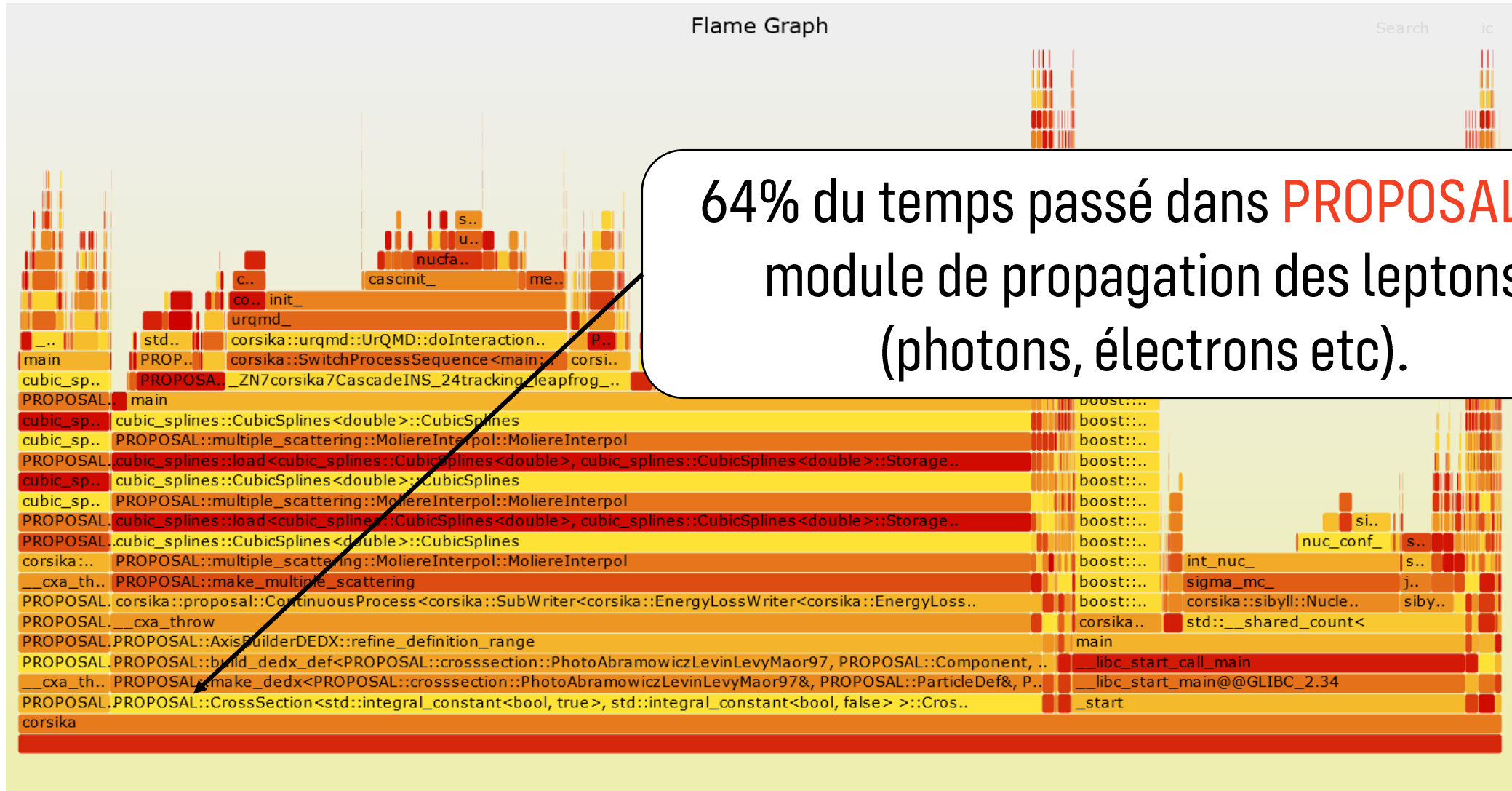
Profilage – FlameGraph

- Généré avec `perf record --call-graph lbr`
- Dans le Firefox Profiler : <https://share.firefox.dev/3R5uly6>

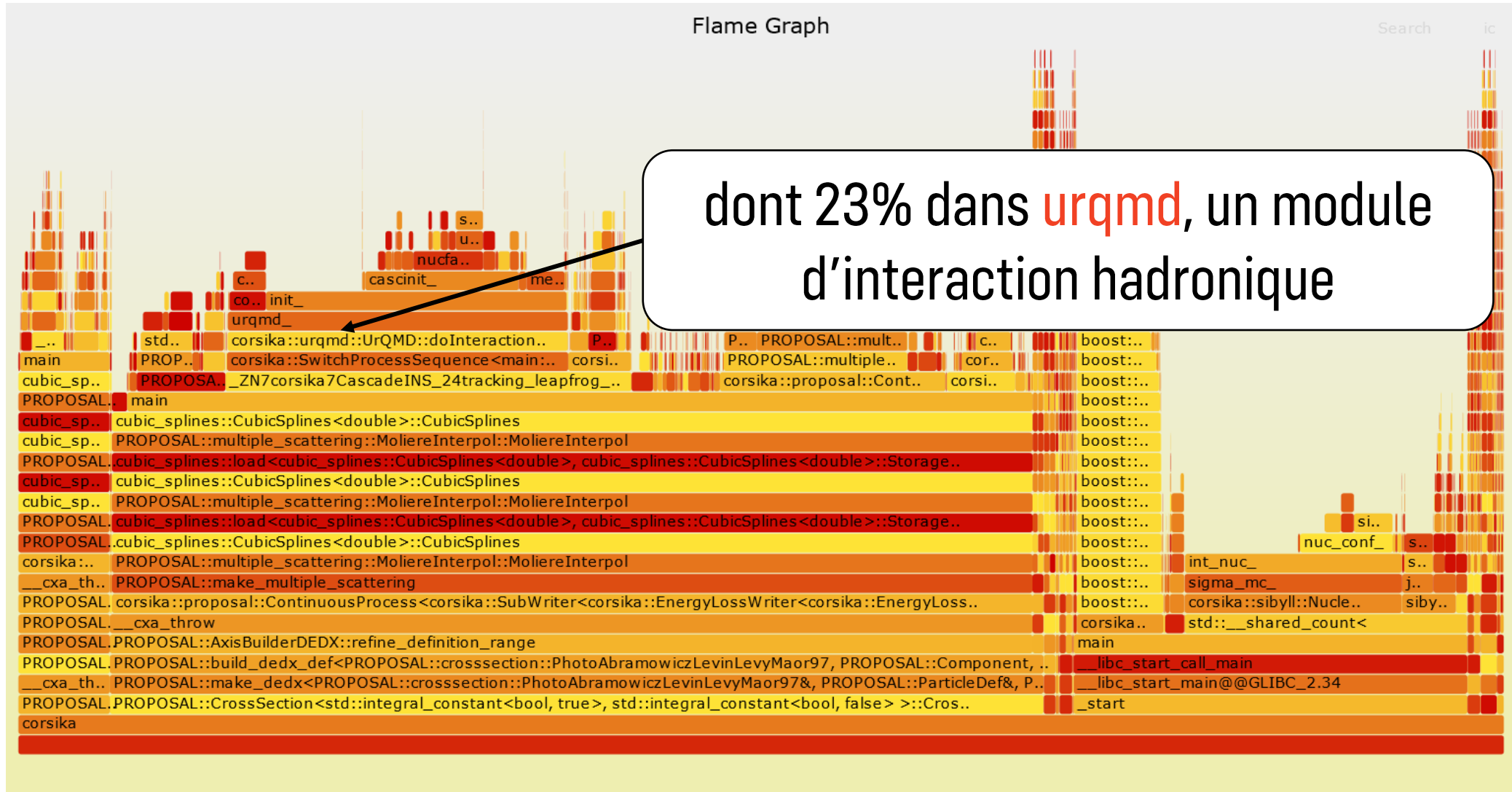
Profilage – FlameGraph



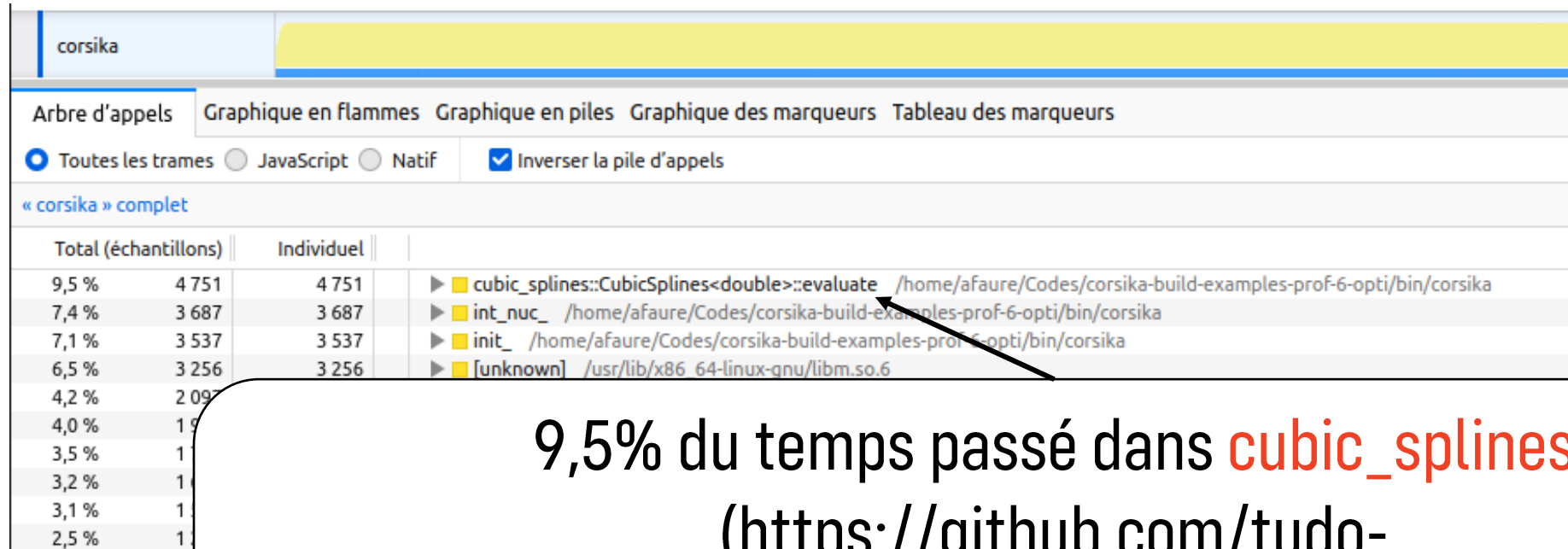
Profilage – FlameGraph



Profilage – FlameGraph



Profilage – Pile d'appels



9,5% du temps passé dans **cubic_splines**
(https://github.com/tudo-astroparticlephysics/cubic_interpolation/tree/main), une bibliothèque d'interpolation basée sur boost et eigen.

Profilage – Pile d'appels

Total (échantillons)	Individuel	
9,5 % 4 751	4 751	▶ cubic_splines::CubicSplines<double>::evaluate /home/afaure/Codes/corsika-build-examples-prof-6-opti/bin/corsika
7,4 % 3 687	3 687	▶ int_nuc_ /home/afaure/Codes/corsika-build-examples-prof-6-opti/bin/corsika
7,1 % 3 537	3 537	▶ init_ /home/afaure/Codes/corsika-build-examples-prof-6-opti/bin/corsika
6,5 % 3 256	3 256	▶ [unknown] /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libm.so.6
4,2 % 2 097	2 097	▶ sincos@plt /home/afaure/Codes/corsika-build-examples-prof-6-opti/bin/corsika
4,0 % 1 984	1 984	▶ log@plt /home/afaure/Codes/corsika-build-examples-prof-6-opti/bin/corsika
3,5 % 1 750	1 750	▶ std::generate_canonical<double, 53ul_random_iterator::detail::Engine<random_iterator_123::Philox2x64_R<10u>>> /home/
3,2 % 1 622	1 622	▶ memset@plt /home/afaure/Cod
3,1 % 1 560	1 560	▶ std::_Sp_counted_base<(_gnu_d
2,5 % 1 232	1 232	▶ expm1@plt /home/afaure/Cod

7,4% du temps passé dans la routine **int_nuc** du module sybill (Fortran)

Conclusion

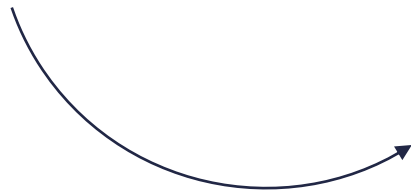
CORSIKA 8



En développement



Modulaire



Optimisation nécessaire

**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**