

Rétro-ingénierie binaire

INF600C

Sécurité des logiciels et exploitation de vulnérabilités

Auteur: Jean Privat, Adapté par: Philippe Pépos Petitclerc

Hiver 2025

Université du Québec à Montréal

Rétro-ingénierie binaire

Les semaines qui s'en viennent

- Rétro-ingénierie binaire (rev)
- Corruption de mémoire et exploits (pwn)
- Contre-mesures classiques et exploits (rop)
- Contre-mesures modernes et exploits (hard)

INF2170 Organisation des ordinateurs et assembleur

- Comprendre le comportement du processeur et de la RAM
- Savoir lire et écrire des petits programmes en assembleur

INF3135 Construction et maintenance de logiciels

- Comprendre la programmation procédurale
- Comprendre l'utilisation de la mémoire et des pointeurs
- Savoir lire et écrire des petits programmes en C

- C'est très technique
 - C'est assez hermétique
 - Ça nécessite beaucoup de pratique
- On va aller lentement en cours
- Vous devez faire **activement** les labs

Rétro-ingénierie binaire

PIN1: le code c'est la vérité

Qu'est-ce que la rétro-ingénierie ?

Langages machine et d'assemblage

Rétro-ingénierie, c'est difficile

PIN2: des bogues

PIN3: prendre le contrôle

PIN1: le code c'est la vérité

Un programme demande un PIN.

```
$ ./pin
```

```
PIN:42
```

```
Erreur!
```

```
$ ./pin
```

```
PIN:1111
```

```
Erreur!
```

```
$ ./pin
```

```
PIN:hello
```

```
Erreur!
```

Objectif: trouver le PIN

pin1 (binaire)

[illegible]

Outils: xxd, ghex

Comprendre le binaire?



« ...there's way too much information to decode the Matrix. You get used to it, though. Your brain does the translating. I don't even see the code. All I see is blonde, brunette, redhead. »

— Cypher, Matrix (1999)

Fichier qui contient le programme exécutable

- le code machine du programme (et sous-programmes)
- du code machine ajouté par le compilateur/assembleur
- des données (dites statiques)
- des métadonnées pour éditeurs de liens, chargeurs, débogueurs...

Langage machine

- Langage natif du processeur
- Composée d'instructions et de données codées en binaire
- Spécifique à une architecture (type de processeur)

Code machine

- Programme en langage machine
- Séquence de bits
- Interprétable directement par le processeur

Commande strings(1)

Rappel INF2170

- Tout n'est que bits
- Il n'y a pas de magie

```
$ strings pin1
__isoc99_scanf
printf
stdout
t$,U
PIN:
INF600C{%d}
```

Des octets dans le binaire servent à coder des chaînes

- Chaînes littérales écrites par un programmeur
- Noms de fonctions, de symboles, de sections, etc.
- Informations de débogage

Qu'est-ce que la rétro-ingénierie ?

Comprendre le fonctionnement d'un programme

Objectifs

- Le maintenir
- Le faire inter-opérer
- S'assurer de son bon fonctionnement et de sa robustesse
- S'assurer de son innocuité
- S'en protéger, en cas de logiciel malveillant (*malware*)
- Créer une version compatible sans vol de copyright
- Percer les façons de faire des concurrents
- Récupérer des secrets embarqués
- Trouver des failles de sécurité

Complexe

- Droit d'auteur (*copyright*)
- Brevet d'invention (*patent*)
- Droit des contrats (*end user license agreement*)

Varié

- Canada, **Loi sur le droit d'auteur** (C-42), 1985
- États-unis, DMCA, 1998
- Europe, EUCD, 2001
- France, DADVSI, 2006

Interopérabilité

- + ou - protégée pour l'utilisation personnelle
- Il y a des contraintes en cas de diffusion (ex. *clean room design*)

Mesures techniques de protection (DRM)

- Le contournement est interdit
- La promotion, la distribution, la vente ou l'utilisation de logiciels et/ou de services de contournement est interdit
- Sauf à des fins de recherche, de sécurité ou d'interopérabilité (sous contraintes)

Langages machine et d'assemblage

Fichiers exécutables

```
$ ls -l
```

```
-rwxr-xr-x 1 privat privat 7344 mar  7 09:59 pin1  
-rwxr-xr-x 1 privat privat 8520 mar  7 09:59 pin1_64  
-rw-r--r-- 1 privat privat  117 mar  7 09:59 pin1.pepo
```

Fichiers exécutables

```
$ ls -l
```

```
-rwxr-xr-x 1 privat privat 7344 mar  7 09:59 pin1  
-rwxr-xr-x 1 privat privat 8520 mar  7 09:59 pin1_64  
-rw-r--r-- 1 privat privat  117 mar  7 09:59 pin1.pepo
```

```
$ file *
```

```
pin1:      ELF 32-bit LSB executable, Intel 80386  
pin1_64:   ELF 64-bit LSB executable, x86-64  
pin1.pepo: ASCII text
```

Fichiers exécutables

```
$ ls -l
```

```
-rwxr-xr-x 1 privat privat 7344 mar  7 09:59 pin1  
-rwxr-xr-x 1 privat privat 8520 mar  7 09:59 pin1_64  
-rw-r--r-- 1 privat privat  117 mar  7 09:59 pin1.pepo
```

```
$ file *
```

```
pin1:      ELF 32-bit LSB executable, Intel 80386  
pin1_64:   ELF 64-bit LSB executable, x86-64  
pin1.pepo: ASCII text
```

```
$ cat pin1.pepo
```

```
41 00 20 31 00 37 C1 00 37 B0 24 B6 0C 00 1C 41  
00 25 39 00 37 50 00 7D 50 00 0A 00 41 00 2E 00  
50 49 4E 3A 00 49 4E 46 36 30 30 43 7B 00 45 72  
72 65 75 72 21 0A 00 00 00 zz
```

Pédagogique

- Pour apprendre la programmation assembleur
- Représentatif des processeurs actuels
- Livré avec un simulateur graphique

Simple

- 16 bits
- 37 instructions (mnémoniques)
- 5 registres
- 8 modes d'adressages

Langage d'assemblage (ou assembleur)

- Représentation du code machine lisible par un humain
- Directives, littéraux, symboles, étiquettes

Assembler et assemblage

- Transformer du code d'assemblage en code machine équivalent

Assembleur

- Outil faisant l'assemblage. Exemple: `as`, `nasm`, `masm`, `asem8`

Langage d'assemblage (ou assembleur)

- Représentation du code machine lisible par un humain
- Directives, littéraux, symboles, étiquettes

Assembler et assemblage

- Transformer du code d'assemblage en code machine équivalent

Assembleur

- Outil faisant l'assemblage. Exemple: `as`, `nasm`, `masm`, `asem8`

Désassembler

- Transformer du code machine en code d'assemblage équivalent
- C'est une **analyse statique** du binaire d'un programme

pin1: désassemblage

pep/8

```
0006:    c10024        lda  0x0024,d
0009:    b024b6        cpa  0x24b6,i
000c:    0c0018        brne 0x0018
```

pep/8

```
0006:      c10024          lda  0x0024,d
0009:      b024b6          cpa  0x24b6,i
000c:      0c0018          brne 0x0018
```

Où est le PIN?

- Le bon PIN est dans le binaire
- C'est le même principe que `strings`
- Mais en plus technique

Contre-mesures

- Ne pas mettre de secrets dans le binaire

Un vrai processeur?

```
$ objdump -d -Mintel pin1
```

```
8048502: a12ca00408      mov  eax,ds:0x804a02c
```

```
8048507: 3d023a0100      cmp  eax,0x13a02
```

```
804850c: 7516            jne  8048524
```

Un vrai processeur?

```
$ objdump -d -Mintel pin1
```

```
8048502: a12ca00408      mov  eax,ds:0x804a02c
```

```
8048507: 3d023a0100      cmp  eax,0x13a02
```

```
804850c: 7516            jne  8048524
```

```
$ objdump -d -Mintel pin1_64
```

```
40062c: 488b051d0a2000  mov  rax,QWORD PTR [rip+0x200a1d]
```

```
400633: 483dd8210000    cmp  rax,0x21d8
```

```
400639: 7519            jne  400654
```

Un vrai processeur?

```
$ objdump -d -Mintel pin1
```

```
8048502: a12ca00408      mov  eax,ds:0x804a02c
8048507: 3d023a0100      cmp  eax,0x13a02
804850c: 7516            jne  8048524
```

```
$ objdump -d -Mintel pin1_64
```

```
40062c: 488b051d0a2000  mov  rax,QWORD PTR [rip+0x200a1d]
400633: 483dd8210000    cmp  rax,0x21d8
400639: 7519            jne  400654
```

En vrai c'est pareil

- Le bon PIN est dans le binaire
- Mais décompiler à la main c'est pénible
- Un outil c'est plus simple: `objdump(1)` de GNU binutils.

Jeu d'instruction (*Instruction set architecture, ISA*)

- 1978: 16 bits Intel 8086
- 1985: 32 bits Intel 80386
- 2001: 64 bits Intel Itanium (lol)
- 2003: 64 bits AMD64 x86-64

Complexe

- *Complex instruction set computer (CISC)*
- 981 mnémoniques (et 3684 variations)
- Redondant
- Contraintes et noms bizarres/historiques
- Plein de trucs obsolètes: MMX, BCD, etc.
- Plein de trucs sales: alignement `nop`, `repz ret`, etc.

LEAKED LIST OF MAJOR 2018 SECURITY VULNERABILITIES

- CVE-2018-????? APPLE PRODUCTS CRASH WHEN DISPLAYING CERTAIN TELUGU OR BENGALI LETTER COMBINATIONS.
- CVE-2018-????? AN ATTACKER CAN USE A TIMING ATTACK TO EXPLOIT A RACE CONDITION IN GARBAGE COLLECTION TO EXTRACT A LIMITED NUMBER OF BITS FROM THE WIKIPEDIA ARTICLE ON CLAUDE SHANNON.
- CVE-2018-????? AT THE CAFE ON THIRD STREET, THE POST-IT NOTE WITH THE WIFI PASSWORD IS VISIBLE FROM THE SIDEWALK.
- CVE-2018-????? A REMOTE ATTACKER CAN INJECT ARBITRARY TEXT INTO PUBLIC-FACING PAGES VIA THE COMMENTS BOX.
- CVE-2018-????? MYSQL SERVER 5.5.45 SECRETLY RUNS TWO PARALLEL DATABASES FOR PEOPLE WHO SAY "S-Q-L" AND "SEQUEL"
- CVE-2018-????? A FLAW IN SOME x86 CPUs COULD ALLOW A ROOT USER TO DE-ESCALATE TO NORMAL ACCOUNT PRIVILEGES.
- CVE-2018-????? APPLE PRODUCTS CATCH FIRE WHEN DISPLAYING EMOJI WITH DIACRITICS.
- CVE-2018-????? AN OVERSIGHT IN THE RULES ALLOWS A DOG TO JOIN A BASKETBALL TEAM.
- CVE-2018-????? HASKELL ISN'T SIDE-EFFECT-FREE AFTER ALL; THE EFFECTS ARE ALL JUST CONCENTRATED IN THIS ONE COMPUTER IN MISSOURI THAT NO ONE'S CHECKED ON IN A WHILE.
- CVE-2018-????? NOBODY REALLY KNOWS HOW HYPERVISORS WORK.
- CVE-2018-????? CRITICAL: UNDER LINUX 3.14.8 ON SYSTEM/390 IN A UTC+14 TIME ZONE, A LOCAL USER COULD POTENTIALLY USE A BUFFER OVERFLOW TO CHANGE ANOTHER USER'S DEFAULT SYSTEM CLOCK FROM 12-HOUR TO 24-HOUR.
- CVE-2018-????? x86 HAS WAY TOO MANY INSTRUCTIONS.
- CVE-2018-????? NUMPY 1.8.0 CAN FACTOR PRIMES IN $O(\log N)$ TIME AND MUST BE QUIETLY DEPRECATED BEFORE ANYONE NOTICES.
- CVE-2018-????? APPLE PRODUCTS GRANT REMOTE ACCESS IF YOU SEND THEM WORDS THAT BREAK THE "I BEFORE E" RULE.
- CVE-2018-????? SKYLAKE x86 CHIPS CAN BE PRIED FROM THEIR SOCKETS USING CERTAIN FLATHEAD SCREWDRIVERS.
- CVE-2018-????? APPARENTLY LINUX TORVALDS CAN BE BRIBED PRETTY EASILY.
- CVE-2018-????? AN ATTACKER CAN EXECUTE MALICIOUS CODE ON THEIR OWN MACHINE AND NO ONE CAN STOP THEM.
- CVE-2018-????? APPLE PRODUCTS EXECUTE ANY CODE PRINTED OVER A PHOTO OF A DOG WITH A SADDLE AND A BABY RIDING IT.
- CVE-2018-????? UNDER RARE CIRCUMSTANCES, A FLAW IN SOME VERSIONS OF WINDOWS COULD ALLOW FLASH TO BE INSTALLED.
- CVE-2018-????? TURNS OUT THE CLOUD IS JUST OTHER PEOPLE'S COMPUTERS.
- CVE-2018-????? A FLAW IN MITRE'S CVE DATABASE ALLOWS ARBITRARY CODE INSERTION. [~~CLICK HERE FOR CHEAP VAGRA~~]

Source: <https://xkcd.com/1957/> (2018)

Syntaxe assembleur AT&T vs. Intel

Syntaxe AT&T

- Préfixe: valeurs \$, registres %, destinations *
- Ordre: `mov source,destination`
- Adressage: `%segreg:disp(base,index,scale)`
- Taille mémoire dans l'instruction si besoin `movb, movw, movl, movq`
- Défaut chez Unix et les outils GNU

Syntaxe Intel

- Pas de préfixe
- Ordre: `mov destination,source`
- Adressage: `segreg:[base+index*scale+disp]`
- Taille mémoire explicite: `BYTE, WORD, DWORD, QWORD`
- Plus populaire en sécu et dans les outils Windows
- Plus proche de Pep/8

Pep/8: 16 bits

- A et X: registres généraux
- SP: pointeur de pile (*stack pointer*)
- IP: pointeur d'instruction (compteur ordinal)

80386: 32 bits

- EAX, ECX, EBX, EDX, ESI et EDI: registres généraux
- ESP: pointeur de pile (haut de la pile)
- EBP: pointeur de base
- EIP: pointeur d'instruction

x86-64: 64 bits

- 8 de base (RAX → RBP), 8 nouveaux (R8 → R15) et RIP

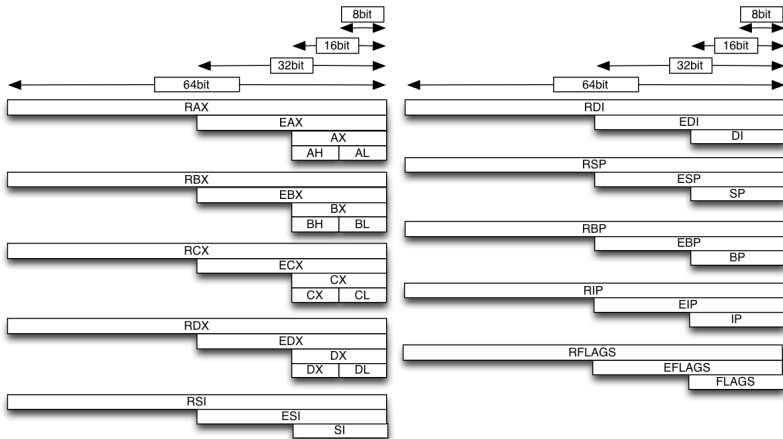
Pep/8: NZVC

- N: négatif (signe)
- Z: zéro
- V: débordement (*overflow*)
- C: retenue (*carry*)

80386 et x86-64: EFLAGS

- SF: signe (négatif)
- ZF: zéro
- OF: débordement (*overflow*)
- CF: retenue (*carry*)

Taille et compatibilité



Instructions 0x86

Transfert de valeur

- Copie une valeur
- Immédiate, en mémoire ou registre
- En x86: `mov`
- En Pep/8: `ld, st`

Opération arithmétique et logique

- Opérations unaires ou binaires
- En x86: `add, sub, cmp, mul, and, sar, etc.`
- En Pep/8: `add, sub, cp, ..., and, asr, etc.`

Contrôle du flot d'exécution

- Branchements et sous-programmes
- En x86: `jmp`, `jl`, `call`, `ret`, etc.
- En Pep/8: `br`, `brlt`, `call`, `ret0`, etc.

LEA: *Load Effective Address*

- Détermine l'adresse effective d'un `mov` (sans accès mémoire)
Ça calcule un pointeur
- Sert aussi à faire de l'arithmétique pas chère
`segreg:[base+index*scale+disp]`

Pile

- `push` et `pop`: empile et dépile une valeur; modifie ESP
- `enter` et `leave`: empile et dépile un cadre; modifie EBP et ESP

Rétro-ingénierie, c'est difficile

Que fait le programme Pep/8 suivant?

```
C0 FE FE 16 00 0D 70 65 70 38 00 41 00 06 00 0B 58
```

Que fait le programme Pep/8 suivant?

C0 FE FE 16 00 0D 70 65 70 38 00 41 00 06 00 0B 58

| | | | |
|-------|--------|------|---------|
| 0000: | C0FEFE | LDA | -258,i |
| 0003: | 16000D | CALL | 0xD |
| 0006: | 706570 | ADDA | 25968,i |
| 0009: | 380041 | DECO | 65,i |
| 000C: | 00 | STOP | |
| 000D: | 06000B | BRLE | 0xB |
| 0010: | 58 | RET0 | |

L'interprétation dépend de l'observateur

C0 FE FE 16 00 0D 70 65 70 38 00 41 00 06 00 0B 58

Si on interprète les octets différemment...

| | | | |
|-------|--------|------|--------|
| 0000: | C0FEFE | LDA | -258,i |
| 0003: | 16000D | CALL | 0xD |

L'interprétation dépend de l'observateur

C0 FE FE 16 00 0D 70 65 70 38 00 41 00 06 00 0B 58

Si on interprète les octets différemment...

0000: C0FEFE LDA -258,i

0003: 16000D CALL 0xD

000D: 06000B BRLE 0xB

L'interprétation dépend de l'observateur

C0 FE FE 16 00 0D 70 65 70 38 00 41 00 06 00 0B 58

Si on interprète les octets différemment...

0000: C0FEFE LDA -258,i

0003: 16000D CALL 0xD

000D: 06000B BRLE 0xB

000B: 410006 STRO 0x6,i

000E: 00 STOP

L'interprétation dépend de l'observateur

C0 FE FE 16 00 0D 70 65 70 38 00 41 00 06 00 0B 58

Si on interprète les octets différemment...

0000: C0FEFE LDA -258,i

0003: 16000D CALL 0xD

000D: 06000B BRLE 0xB

000B: 410006 STRO 0x6,i

000E: 00 STOP

0006: 7065703800 .ASCII "pep8\x00"

Qu'est-ce que la vérité ?



« Boy: Do not try and bend the spoon. That's impossible. Instead only try to realize the truth.

Neo: What truth?

Boy: There is no spoon. » – Matrix (1999)

Rendre le code difficile à comprendre

- Enlever toute information de débogage (`strip(1)`)
- Complexifier les algorithmes
- Forcer le désassembleur à mal désassembler

Techniques d'anti-désassemblage:

- Utiliser un même octet en RAM pour des significations différentes
- Abuser de branchements indirects calculés
- Générer/muter le code machine lors de l'exécution
- Ajouter de l'aléa pour rendre les choses faussement non-déterministes

Qui est aussi méchant?



Qui est aussi méchant?

- Développeurs de logiciels malveillants (*malwares*)
- Développeurs utilisant la sécurité par l'obscurité (DRM)
- Développeurs paranoïaques
- Amateurs de défis et de casse-têtes (CTF)
- Développeurs de compilateurs optimisants (dégât collatéral)

PIN2: des bogues

Objectif: trouver le PIN

```
$ ./pin2
```

```
PIN: 12
```

```
Erreur!
```

Objectif: trouver le PIN

```
$ ./pin2
```

```
PIN: 12
```

```
Erreur!
```

```
$ ls -l
```

```
-rwxr-xr-x 1 privat privat 7352 mar  9 12:59 pin2  
-rwxr-xr-x 1 privat privat 8528 mar  9 12:59 pin2_64  
-rw-r--r-- 1 privat privat  260 mar  9 13:27 pin2.pepo
```

Objectif: trouver le PIN

```
$ ./pin2
```

```
PIN: 12
```

```
Erreur!
```

```
$ ls -l
```

```
-rwxr-xr-x 1 privat privat 7352 mar  9 12:59 pin2
-rwxr-xr-x 1 privat privat 8528 mar  9 12:59 pin2_64
-rw-r--r-- 1 privat privat  260 mar  9 13:27 pin2.pepo
```

```
$ cat pin2.pepo
```

```
41 00 4B 31 00 49 C0 06 50 C8 00 04 16 00 1C B1
00 49 0C 00 1B C1 00 49 16 00 3C 00 68 00 02 E3
00 00 B8 00 00 06 00 38 1E 70 00 01 73 00 00 E3
00 00 88 00 01 04 00 22 C3 00 00 5A 68 00 02 41
00 50 3B 00 00 51 00 7D 5A 00 00 50 49 4E 3A 00
46 4C 41 47 7B 00 zz
```

pin2.pepo désassemblé (1)

main:

| | | | | |
|------|--------|-------|------|----------|
| 0000 | 41004B | main: | STRO | 0x004B,d |
| 0003 | 310049 | | DECI | 0x0049,d |
| 0006 | C00650 | | LDA | 0x650,i |
| 0009 | C80004 | | LDX | 0x4,i |
| 000C | 16001C | | CALL | get_pin |
| 000F | B10049 | | CPA | 0x0049,d |
| 0012 | 0C001B | | BRNE | 0x001B |
| 0015 | C10049 | | LDA | 0x0049,d |
| 0018 | 16003C | | CALL | print |
| 001B | 00 | | STOP | |

pin2.pepo désassemblé (1)

main:

| | | | | |
|------|--------|-------|------|----------|
| 0000 | 41004B | main: | STRO | 0x004B,d |
| 0003 | 310049 | | DECI | 0x0049,d |
| 0006 | C00650 | | LDA | 0x650,i |
| 0009 | C80004 | | LDX | 0x4,i |
| 000C | 16001C | | CALL | get_pin |
| 000F | B10049 | | CPA | 0x0049,d |
| 0012 | 0C001B | | BRNE | 0x001B |
| 0015 | C10049 | | LDA | 0x0049,d |
| 0018 | 16003C | | CALL | print |
| 001B | 00 | | STOP | |

- Le bon PIN est calculé par get_pin

pin2.pepo désassemblé (2)

get_pin:

| | | | |
|------|--------|----------------|--------|
| 001C | 680002 | get_pin: SUBSP | 2,i |
| 001F | E30000 | STA | 0,s |
| 0022 | B80000 | CPX | 0,i |
| 0025 | 060038 | BRLE | 0x0038 |
| 0028 | 1E | ASRA | |
| 0029 | 700001 | ADDA | 0x1,i |
| 002C | 730000 | ADDA | 0,s |
| 002F | E30000 | STA | 0,s |
| 0032 | 880001 | SUBX | 0x1,i |
| 0035 | 040022 | BR | 0x0022 |
| 0038 | C30000 | LDA | 0,s |
| 003B | 5A | RET2 | |

pin2.pepo désassemblé (2)

get_pin:

```
001C 680002 get_pin: SUBSP    2,i
001F E30000          STA      0,s
0022 B80000          CPX      0,i
0025 060038          BRLE    0x0038
0028 1E            ASRA
0029 700001          ADDA     0x1,i
002C 730000          ADDA     0,s
002F E30000          STA      0,s
0032 880001          SUBX     0x1,i
0035 040022          BR       0x0022
0038 C30000          LDA      0,s
003B 5A            RET2
```

- get_pin est compliqué
- On peut tenter de comprendre l'algo
- Mais il y a plus simple...

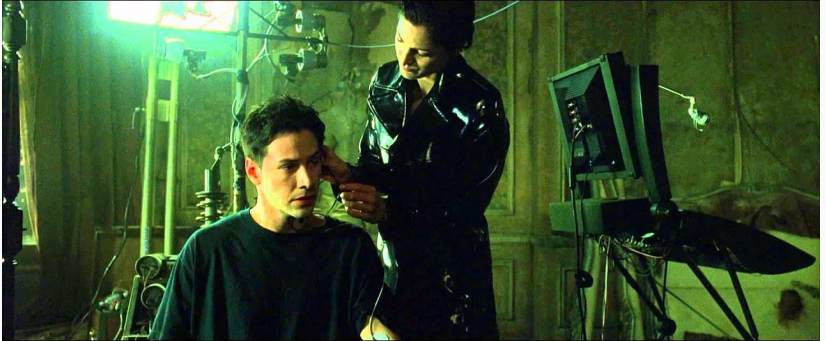
Exécution contrôlée d'un programme

- Pas à pas, instruction par instruction
- Voir le contenu de la mémoire et des registres
- Surveiller les appels

C'est une **analyse dynamique** d'un programme

Objectif

- Diagnostiquer certains bugs
- Rétro-ingénierie



« The pill you took is part of a trace program. It's design to disrupt your input/output carrier signal so we can pinpoint your location. »

— Morpheus, Matrix (1999)

GNU Debugger

- 1986 (Richard Stallman)
- Supporte de nombreux langages et architectures
- Interface texte (console)
- Nombreuses interfaces graphique (tierces parties)
- Débogage de processus en cours
- Débogage réseau

Python Exploit Development Assistance for GDB

- Améliore l'affichage de GDB
- Ajoute des fonctions d'aide à l'ingénierie inverse
- Ajoute des fonctions d'aide au développement d'exploits

```
$ git clone https://github.com/longld/peda.git ~/peda
$ echo "source ~/peda/peda.py" >> ~/.gdbinit
$ echo "set disassembly-flavor intel" >> ~/.gdbinit
```

Exécuter

- `run args`: exécute depuis le début avec des arguments
- `start (peda)`: exécute jusqu'au début du `main`
- `si`, `stepi`: exécute une instruction, entre dans les fonctions
- `ni`, `nexti`: exécute une instruction, n'entre pas dans les fonctions
- `finish`: exécute jusqu'à la fin de la fonction
- `nextcall (peda)`: exécute jusqu'au prochain `call`
- `nextjmp (peda)`: exécute jusqu'au prochain `jmp`
- `c`, `continue`: reprend l'exécution
- `b *adresse`: met un point d'arrêt

Divers

- `entrée`: refait la dernière commande
- `q`, `quit`: quitter
- `h cmd`, `help cmd`: affiche l'aide

Inspecter

- `p expr`: calcule et affiche une expression (en hexa par défaut)
- `p/d expr`: pareil mais en décimal (d'autres formats existent)
- `x adresse`: affiche le contenu d'une adresse
- `x/3db adresse`: affiche **3** décimaux, chacun d'un octet (**b**yte)
- `telescope adresse (peda)`: affiche et déréférence
- `pdisass foncton (peda)`: désassemble une fonction
- `bt, backtrace`: affiche la pile d'appels

PIN3: prendre le contrôle

```
$ ./pin3
```

```
PIN:1234
```

```
Erreur !
```

Objectif: Ignorer le PIN et avoir le flag

Modifier

- `set $reg = expr`: modifier la valeur d'un registre
- `goto adresse`: modifier le compteur ordinal
- `skipi (peda)`: ignorer une instruction (ça fait des bonds)
- `return`: quitter de force une fonction sans l'exécuter
- `patch adress valeur (peda)`: écrire une valeur en mémoire

Pourquoi modifier?

- Mieux comprendre ce qui se passe

Prendre le contrôle



« I don't like the idea that I'm not in control of my life. »
— Neo, Matrix (1999)

Qui peu déboguer ?

- Seul l'utilisateur légitime peut contrôler le comportement
- Mais il n'y a aucun privilège à gagner

Ça ne fonctionne pas

- Sur un processus d'un autre utilisateur
- Sur un binaire suid
- Sur un processus d'une autre machine

Un débogueur, comment ça marche

Un outil surpuissant

- Suspendre et reprendre l'exécution
- Lire toute la mémoire
- Modifier toute la mémoire... même celle en lecture seule
- Lire et modifier les registres
- Intercepter les signaux
- Mettre des points d'arrêts

Pas de magie

- `gdb(1)` est un programme normal non privilégié
- Le système lui permet d'observer et de contrôler d'autres processus
- Appel système `ptrace(2)`
- Utilisé aussi par `strace(1)` et `ltrace(1)`

Principe de ptrace

- Observé et observateur sont des processus **indépendants**
Un observateur, plusieurs observés
- L'observé peut être
Un processus fils (`PTTRACE_TRACEME`)
Un processus existant de l'utilisateur (`PTTRACE_ATTACH`)
- Lorsque l'observé reçoit un signal
Le système **arrête** l'observé (état stoppé)
L'observateur est notifié (via `wait`)
- Quand l'observé est stoppé, l'observateur peut
L'inspecter et le bricoler
Le faire repartir (*continue*)
- L'observateur est laissé à lui-même
Interpréter les octets de la mémoire et des registres
Bricoler et restaurer le code machine
ex. points d'arrêts via `int 3 (0xCC)`

Observateur vs. observé

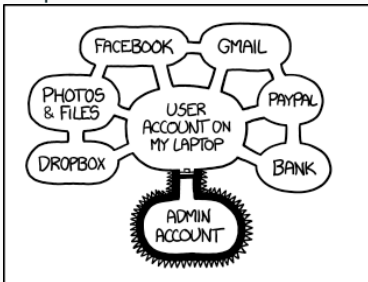


« First there was darkness. Then came the strangers. They abducted us and brought us here. This city, everyone in it, is their experiment. They mix and match our memories as they see fit, trying to divine what makes us unique. » — Dr. Daniel P. Schreber, Dark City (1998)

Rappel de sécurité traditionnelle

Sauf contre-ordre validé par le système d'exploitation:

- Les contrôles d'accès sont au niveau des utilisateurs
- Un processus a le complet contrôle de son espace mémoire
- Un processus ne peut accéder à la mémoire d'autres processus



IF SOMEONE STEALS MY LAPTOP WHILE I'M
LOGGED IN, THEY CAN READ MY EMAIL, TAKE MY
MONEY, AND IMPERSONATE ME TO MY FRIENDS,
BUT AT LEAST THEY CAN'T INSTALL
DRIVERS WITHOUT MY PERMISSION.

Mode d'accès ptrace

- Pour les appels systèmes
- qui permettent d'accéder à la mémoire d'autres processus

Règles de base:

- Restreint aux mêmes utilisateurs et groupes
- modulo *root*
- modulo *setuid*

Lire et écrire la mémoire

- `/proc/pid/mem` (nécessite d'être ptracé et ptrace-stoppé)
- `ptrace(2)`; commandes `PTRACE_PEEKDATA` et `PTRACE_POKEDATA`
- `process_vm_readv(2)`, `process_vm_writev(2)`
- `gcore(1)` pour générer une image mémoire

Un logiciel malveillant peut utiliser `ptrace` pour surveiller ou contrôler tout processus d'un utilisateur

- vol de secrets dans la mémoire de ssh, gpg, etc.
- vol de terminaux (*keylogger*)

Réduction de la surface d'attaque ?

- Interdire d'attacher. On ne trace que les fils. (défaut Ubuntu)
`/proc/sys/kernel/yama/ptrace_scope` (module de sécurité)
- Désactiver le traçage.

`prctl(PR_SET_DUMPABLE, 0), ptrace(PTRACE_TRACEME)`

Vraies contre-mesures ?

- Isoler les applications dans des conteneurs
Exemples: `firejail(1)`, `flatpack`, `snap`, etc.
- Isoler les applications dans des *users*.
Exemple: Android
- Contrôler les applications directement
Exemple: MAC (SELinux, AppArmor, etc.)