Sofware Fault Isolation using the CompCert compiler

Auteur: Alexandre Dang

Superviseur: Frédéric Besson
Équipe: Celtique

CentraleSupélec

Université de Rennes 1

1er février 2016

Flash plugin vulnérable

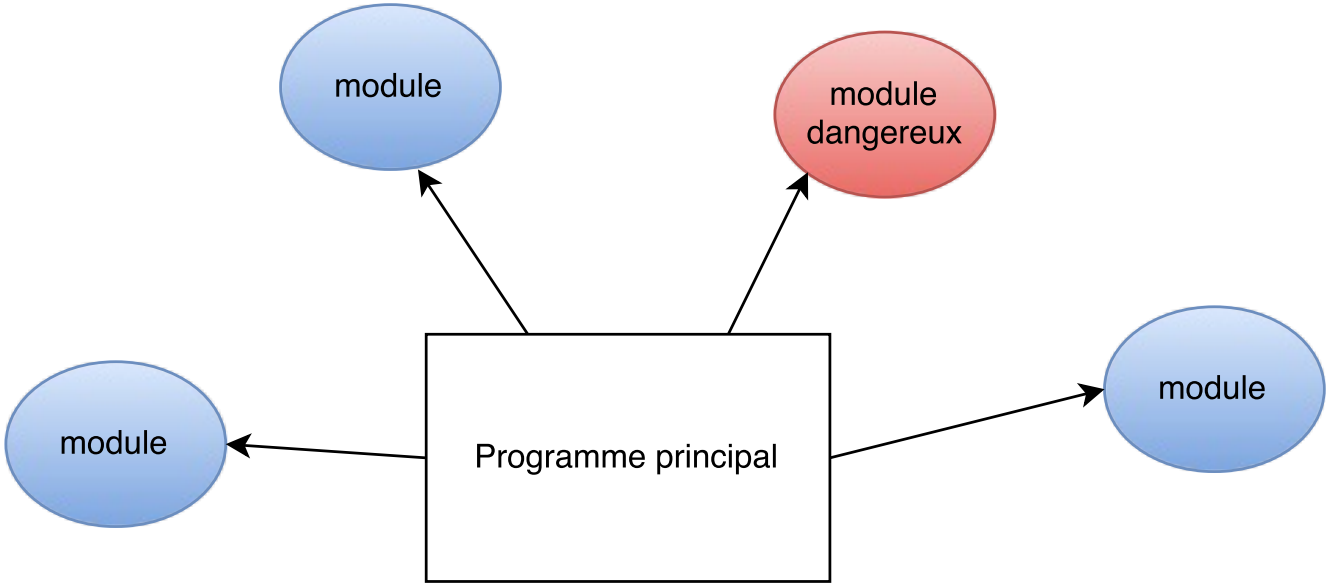
Connaissez-vous ce logo ?

Le plugin Flash est connu pour ces failles
$\rightarrow$ conséquences sur flash
$\rightarrow$ mais AUSSI sur votre navigateur

Plan

Introduction

Contexte



- les systèmes d'exploitation avec micro-noyaux
- un navigateur web avec ses extensions
- les fermes de calculs

Problématique

Comment pouvoir exécuter ces modules potentiellement dangereux sans qu'ils puissent corrompre le programme principal ?

Solutions actuelles

- Isolation des modules dans différents espaces mémoires
  - Isolation par processus
  - Machines virtuelles et hyperviseur

  $\rightarrow$ les communications entre les espaces mémoires sont coûteuses en temps
- *Software Fault Isolation*

Fondements de Software Fault Isolation

Software Fault Isolation [Wahbe et al, 1993]

Définition

Software Fault Isolation permet à un programme d'exécuter des modules dans son espace mémoire de manière sécurisée.

Propriétés de sécurité de SFI

SFI garantit qu'un module respecte les propriétés suivantes :

- *Sûreté de la mémoire*, le module est confiné dans une région de la mémoire appelée *sandbox*
- *Intégrité du flot de contrôle*, les interactions extérieures à la *sandbox* sont contrôlées par une interface de confiance

Software Fault Isolation

Sandbox (bac à sable)

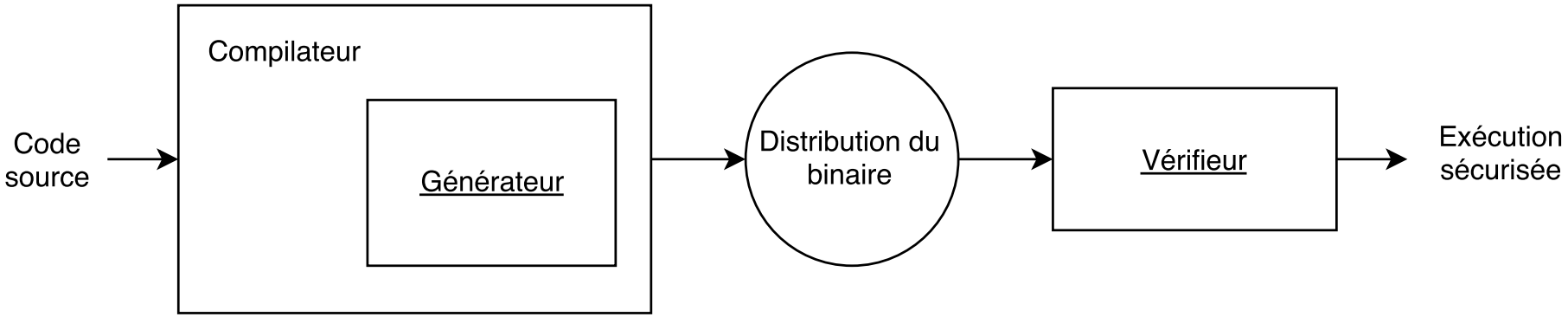
Espace contiguë de la mémoire où sera confiné le module à risque

- sa taille est une puissance de deux
- son adresse de départ est une puissance de deux
- identifiée par une **étiquette**

ex : `0xda` est l'étiquette de la *sandbox* de la mémoire [`0xda000000` - `0xdaffffff`]

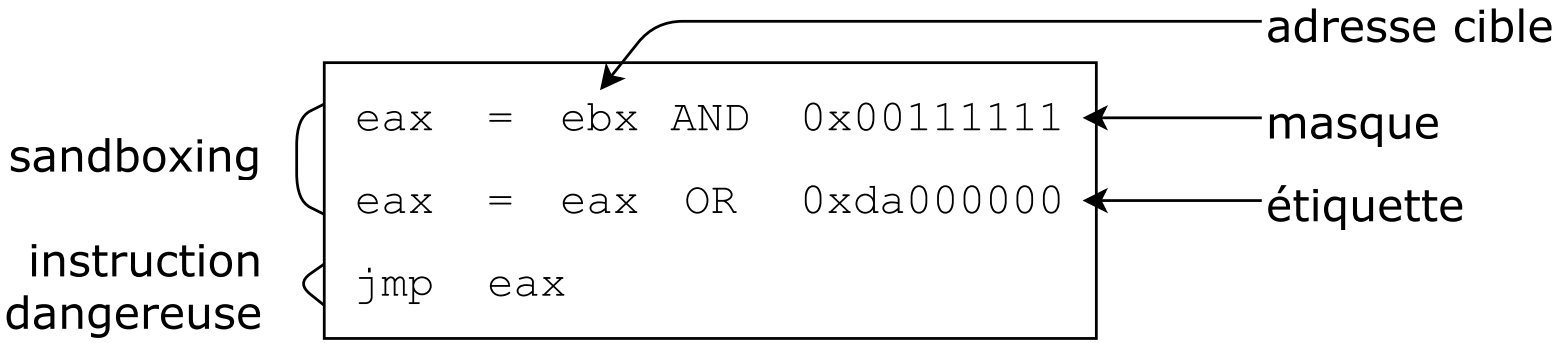
Composants de SFI

- un **générateur de code**, transforme les modules afin qu'ils respectent les propriétés de SFI
  $\rightarrow$ hors de la *Trusted Computing Base*
- un **vérifieur de code**, valide que le module comporte bien les transformations du générateur
  $\rightarrow$ fait partie de la TCB



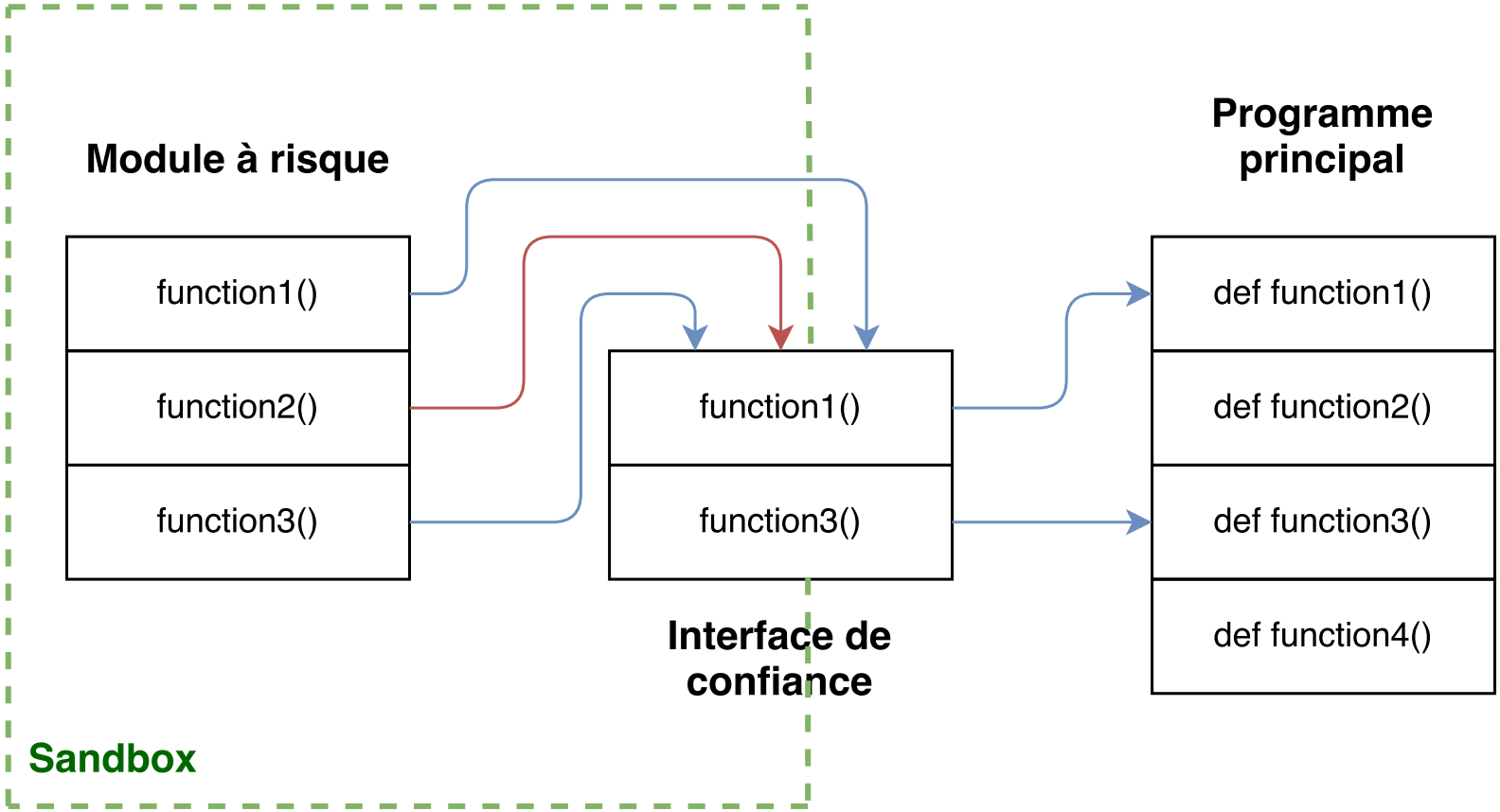
Transformations du module à risque (1/2)

- Confinement des accès mémoire :
  - *sandboxing* pour les instructions dangereuses
  - saut dans le code (`jmp`)
  - écriture dans la mémoire (`store`)



Transformations du module à risque (2/2)

- Contrôle des appels de fonction hors de la *sandbox* via une interface de confiance faisant partie de notre TCB



Exemple d'implémentation

NativeClient, SFI pour Google Chrome [Yee et al, 2010][Sehr and al, 2010]

- implémentation la plus aboutie de SFI
- fonctionne pour les architectures x86-32, x86-64 et ARM
  - jeu d'instructions différents
  - désassemblage du binaire plus compliqué pour le vérifieur
  - optimisations (segment mémoire physique pour x86-32, etc.)
- baisses de performances de 5% pour ARM et 7% pour x86-64.

Avantages et inconvénients

- Avantages
  - TCB réduite au vérifieur et à l'interface de contrôle des appels externes
  - approche indépendante du langage de programmation utilisée
- Inconvénients
  - le module à risque transformé est moins performant et plus lourd
  - l'implémentation de SFI dépend de l'architecture ciblée

Avantages et inconvénients

- Avantages
  - TCB réduite au vérifieur et à l'interface de contrôle des appels externes
  - approche indépendante du langage de programmation utilisée
- Inconvénients
  - le module à risque transformé est moins performant et plus lourd
  - l'implémentation de SFI dépend de l'architecture ciblée

Est-il possible d'avoir une approche de SFI portable sur plusieurs architectures ?

Software Fault Isolation avec CompCert

CompCert [Leroy, 2009]

- Compilateur certifié pour le langage C
- Écrit et prouvé avec l'assistant à la preuve Coq
- Performances proches de `gcc -O1`

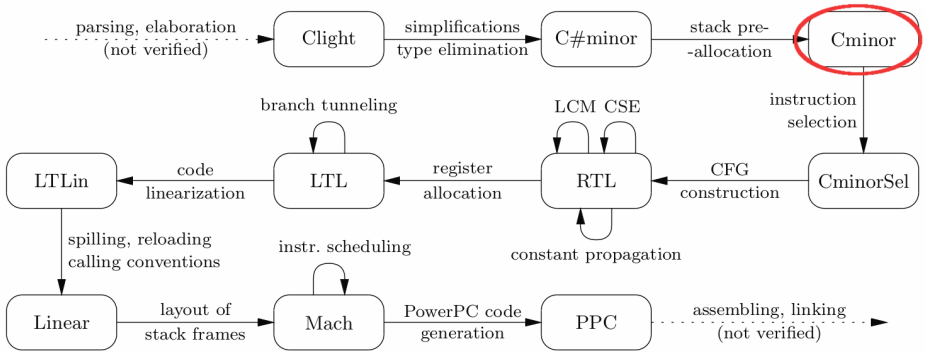
Théorème de correction de CompCert

Tout programme S sémantiquement bien défini dans CompCert sera compilé en un code assembleur C qui aura les mêmes comportements que S

Approche SFI avec CompCert [Kroll, 2014]

Objectif : Rendre SFI portable

- transformations sur Cminor, langage indépendant de l'architecture
- transformations sémantiquement bien définies dans CompCert
- le théorème de correction de CompCert garantit que le code produit sera conforme aux exigences de SFI



→ Le vérifieur de code n'est plus nécessaire dans l'approche SFI-CompCert

Générateur de code avec CompCert

SFI doit produire un code sécurisé quelque soit le programme en entrée

Le Cminor transformé doit :

1. respecter les propriétés de sécurité de SFI
   - opérations de *sandboxing*
   - interface de confiance pour les appels de fonction externe au module
2. être sémantiquement défini pour que le théorème de correction s'applique
   - initialisation des variables
   - vérifications complémentaires, par exemple contre la division par 0

Évaluation de l'approche

- Avantages
  - portabilité sur toutes les architectures supportées par CompCert
  - les transformations sur Cminor peuvent être optimiser durant la compilation
- Inconvénients
  - CompCert n'a pas de sémantique pour les programmes multi-tâches
  - la distribution des binaires n'est plus possible
- Performances
  - compromis entre `gcc -O0` et `gcc -O1`
  - baisse des performances de 21,7% sur x86 et 16,8% sur ARM par rapport à CompCert sans SFI

Conclusion

Conclusion

- SFI permet d'exécuter un module à risque de manière sécurisée en :
  - confinant ses accès mémoires dans la *sandbox*
  - contrôlant les appels de fonctions externes
- Deux approches possibles :
  - approche classique avec générateur de code et vérifieur de confiance
  - générateur de code avec le compilateur CompCert

Problématique du stage

- `ret` n'utilise pas de registres pour l'adresse de retour
- impossible de sécuriser par une opération de masquage dans la *sandbox*
- solution utilisée :

```
popl    %ebx
and     $0x10ffff0, %ebx
jmp     *%ebx
```

Problématique du stage

- `ret` n'utilise pas de registres pour l'adresse de retour
- impossible de sécuriser par une opération de masquage dans la *sandbox*
- solution utilisée :

```
popl    %ebx
and     $0x10ffffF0, %ebx
jmp     *%ebx
```

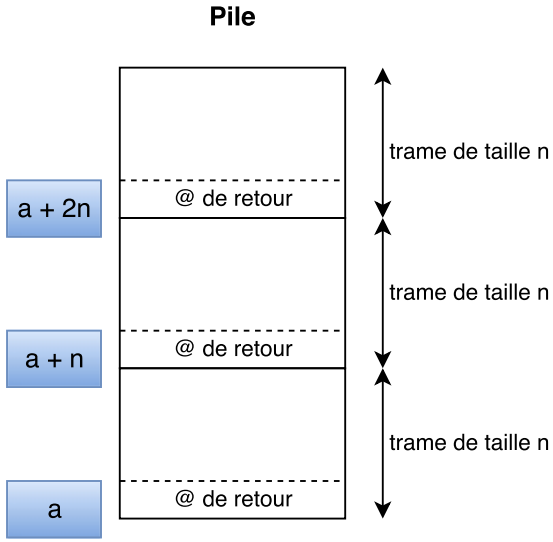
Les architectures modernes ont de nombreuses optimisations liées à l'instruction `ret`

Approche proposée

- Objectifs
  - intégrité du flot de contrôle des instructions `ret`
  - gains en performances
  - utiliser le compilateur CompCert

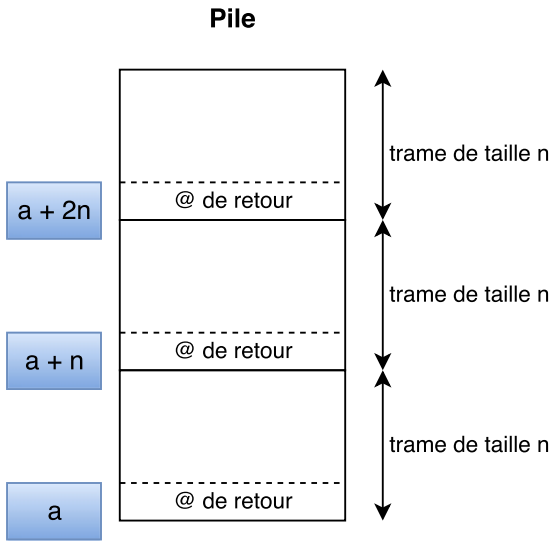
Approche proposée

- Objectifs
  - intégrité du flot de contrôle des instructions `ret`
  - gains en performances
  - utiliser le compilateur CompCert
- Idée
  - pile avec des trames de taille constante
    $\rightarrow$ protection des adresses de retour
    $\rightarrow$ protection contre les attaques de type *buffer overflow*



Approche proposée

- Objectifs
  - intégrité du flot de contrôle des instructions `ret`
  - gains en performances
  - utiliser le compilateur CompCert
- Idée
  - pile avec des trames de taille constante
    $\rightarrow$ protection des adresses de retour
    $\rightarrow$ protection contre les attaques de type *buffer overflow*
- Difficultés envisagées
  - choix d'un niveau de langage pour implémenter les transformations SFI
  - langage haut niveau comme Cminor, nécessite de définir une sémantique à nos transformations dans la chaîne de compilation
  - langage bas niveau implémentation plus complexe



Fin

Merci de votre attention

References

[1] Martín Abadi, Mihai Budiu, Úlfar Erlingsson, and Jay Ligatti. Control-flow integrity principles, implementations, and applications. *ACM Trans. Inf. Syst. Secur.*, 13(1) :4 :1–4 :40, 2009.

[2] Frédéric Besson, Sandrine Blazy, and Pierre Wilke. A concrete memory model for compcert. In Christian Urban and Xingyuan Zhang, editors, *Interactive Theorem Proving*, volume 9236 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 67–83. Springer International Publishing, 2015.

[3] Joshua A. Kroll, Gordon Stewart, and Andrew W. Appel. Portable software fault isolation. In *Proceedings of the 2014 IEEE 27th Computer Security Foundations Symposium*, CSF '14, pages 18–32. IEEE Computer Society, 2014.

[4] Xavier Leroy. Formal verification of a realistic compiler. *Commun. ACM*, 52(7) :107–115, 2009.

[5] Stephen Mccamant and Greg Morrisett. Evaluating SFI for a CISC architecture. In *In 15th USENIX Security Symposium (2006)*, pages 209–224.

[6] David Sehr, Robert Muth, Cliff Biffle, Victor Khimenko, Egor Pasko, Karl Schimpf, Bennet Yee, and Brad Chen. Adapting software fault isolation to contemporary cpu architectures. In *Proceedings of the 19th USENIX Conference on Security*, USENIX Security'10, pages 1–1. USENIX Association, 2010.

[7] Robert Wahbe, Steven Lucco, Thomas E. Anderson, and Susan L. Graham. Efficient software-based fault isolation. *SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, 27(5) :203–216, 1993.

[8] Bennet Yee, David Sehr, Gregory Dardyk, J. Bradley Chen, Robert Muth, Tavis Ormandy, Shiki Okasaka, Neha Narula, and Nicholas Fullagar. Native client : A sandbox for portable, untrusted x86 native code. *Commun. ACM*, 53(1) :91–99, 2010.

[9] Bin Zeng, Gang Tan, and Greg Morrisett. Combining control-flow integrity and static analysis for efficient and validated data sandboxing. In *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer and Communications Security*, CCS '11, pages 29–40. ACM, 2011.