

# Damn Vuln IoT SoC: A Modular Platform To Learn Hardware Bug Exploitation

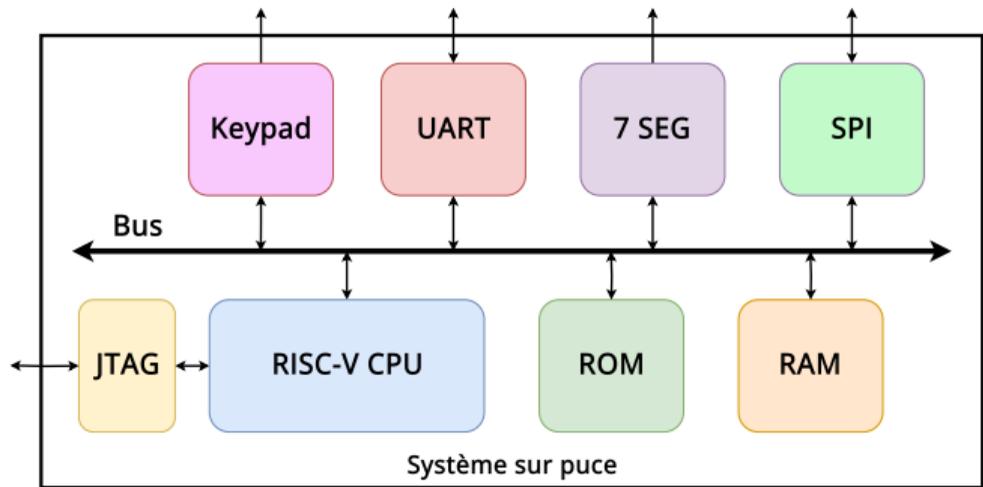
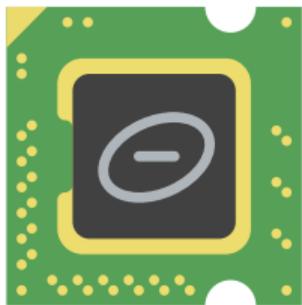
**Adam HENAULT, Philippe TANGUY**

Master CSSE  
Université Bretagne Sud  
Lab-STICC (UMR 6285)

**SSTIC 2024**



# Qu'est-ce qu'un SoC ?



# Quels sont les enjeux de sécurité ?

## Problématique

Erreurs de description matériel dans un système sur puce.

## Impacts

- Vulnérabilités pouvant être exploitées depuis le logiciel.
- Vulnérabilités pouvant être exploitées depuis le matériel.
- Difficultés à corriger d'éventuelles failles de sécurité.

Liste CWE (MITRE) répertorie la plupart des bugs.

# CWE-1298 : Hardware Logic Race Conditions

```
module dma # (...)(...);
...
input [7:0] [16-1:0] pmpcfg_i;
input logic [16-1:0][53:0] pmpaddr_i;
...
/// Save the input command
always @ (posedge clk_i or negedge rst_ni)
begin: save_inputs
if (!rst_ni)
begin
...
end
else
begin
if (dma_ctrl_reg == CTRL_IDLE || dma_ctrl_reg == CTRL_DONE)
begin
...
end
end
end // save_inputs
...
// Load/store PMP check
pmp #(
.XLEN ( 64 ),
.PMP_LEN ( 54 ),
.NR_ENTRIES ( 16 )
) i_pmp_data (
.addr_i ( pmp_addr_reg ),
.priv_lvl_i ( riscv::PRIV_LVL_U ),
.access_type_i ( pmp_access_type_reg ),
// Configuration
.conf_addr_i ( pmpaddr_i ),
.conf_i ( pmpcfg_i ),
.allow_o ( pmp_data_allow )
);
endmodule
```

```
module dma # (...)(...);
...
input [7:0] [16-1:0] pmpcfg_i;
input logic [16-1:0][53:0] pmpaddr_i;
...
reg [7:0] [16-1:0] pmpcfg_reg;
reg [16-1:0][53:0] pmpaddr_reg;
...
/// Save the input command
always @ (posedge clk_i or negedge rst_ni)
begin: save_inputs
if (!rst_ni)
begin
...
pmpaddr_reg <= 'b0 ;
pmpcfg_reg <= 'b0 ;
end
else
begin
if (dma_ctrl_reg == CTRL_IDLE || dma_ctrl_reg == CTRL_DONE)
begin
...
pmpaddr_reg <= pmpaddr_i;
pmpcfg_reg <= pmpcfg_i;
end
end
end // save_inputs
...
// Load/store PMP check
pmp #(
.XLEN ( 64 ),
.PMP_LEN ( 54 ),
.NR_ENTRIES ( 16 )
) i_pmp_data (
.addr_i ( pmp_addr_reg ),
.priv_lvl_i ( riscv::PRIV_LVL_U ), // we intend to apply filter on
// DMA always, so choose the least privilege .access_type_i ( pmp_access_type_reg ),
// Configuration
.conf_addr_i ( pmpaddr_reg ),
.conf_i ( pmpcfg_reg ),
.allow_o ( pmp_data_allow )
);
endmodule
```

# Pourquoi Damn Vuln IoT SoC ?

## Objectif

- **Instrumenter** un outil de génération de système sur puce afin d'introduire de façon **automatique** des **vulnérabilités matérielles**.
- Développer une **plateforme éducative** afin d'illustrer les problématiques de la sécurité matérielle pour des cours ou pour des CTF.

Produits	Bugs Logiciels	Bugs Matériels	Modularité	Accessibilité
Attify Exploitation Learning	✓	✗	✗	✗
DIVA IoT Board	✓	✗	✗	✗
HaHa Board	✓	✓	✗	✗
HACK@DAC 2018	✗	✓	✗	✓
Damn Vuln IoT SoC	✓	✓	✓	✓

# Pourquoi Damn Vuln IoT SoC ?

## Objectif

- **Instrumenter** un outil de génération de système sur puce afin d'introduire de façon **automatique** des **vulnérabilités matérielles**.
- Développer une **plateforme éducative** afin d'illustrer les problématiques de la sécurité matérielle pour des cours ou pour des CTF.

Produits	Bugs Logiciels	Bugs Matériels	Modularité	Accessibilité
Attify Exploitation Learning	✓	✗	✗	✗
DIVA IoT Board	✓	✗	✗	✗
HaHa Board	✓	✓	✗	✗
<b>HACK@DAC 2018</b>	✗	✓	✗	✓
Damn Vuln IoT SoC	✓	✓	✓	✓

# Pourquoi Damn Vuln IoT SoC ?

## Objectif

- **Instrumenter** un outil de génération de système sur puce afin d'introduire de façon **automatique** des **vulnérabilités matérielles**.
- Développer une **plateforme éducative** afin d'illustrer les problématiques de la sécurité matérielle pour des cours ou pour des CTF.

Produits	Bugs Logiciels	Bugs Matériels	Modularité	Accessibilité
Attify Exploitation Learning	✓	✗	✗	✗
DIVA IoT Board	✓	✗	✗	✗
HaHa Board	✓	✓	✗	✗
HACK@DAC 2018	✗	✓	✗	✓
<b>Damn Vuln IoT SoC</b>	✓	✓	✓	✓

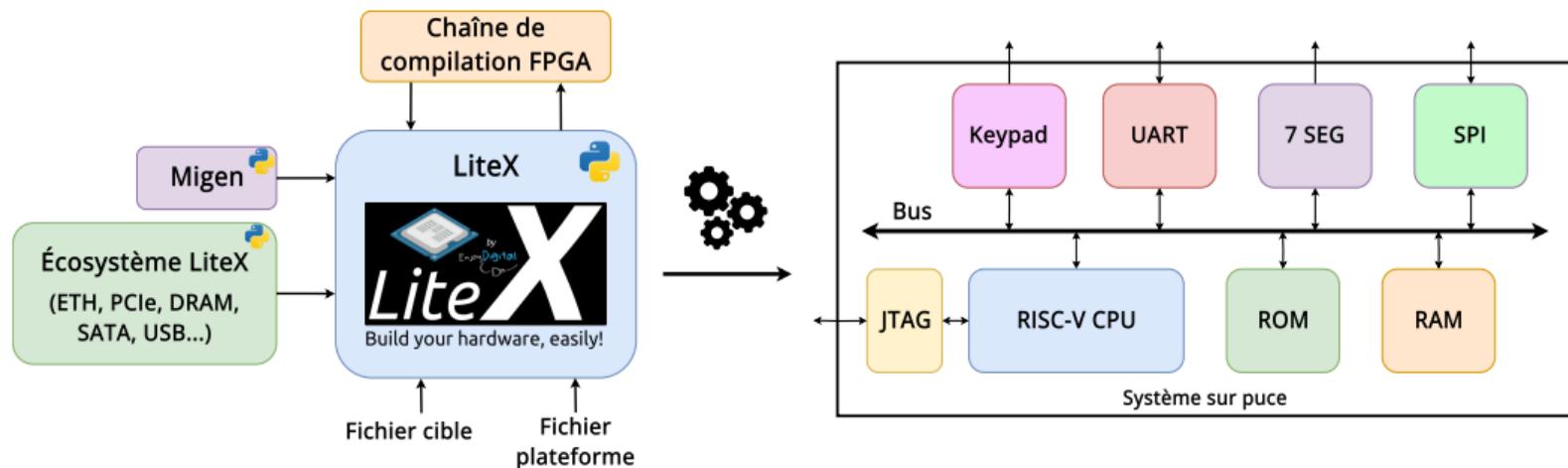
# Les objectifs de Damn Vuln IoT SoC

- Catalogue de composants vulnérables et configurables.
- Plateforme modulaire.
- Open source.
- Pas de matériel spécifique (FPGA).

# Présentation de LiteX

## Informations

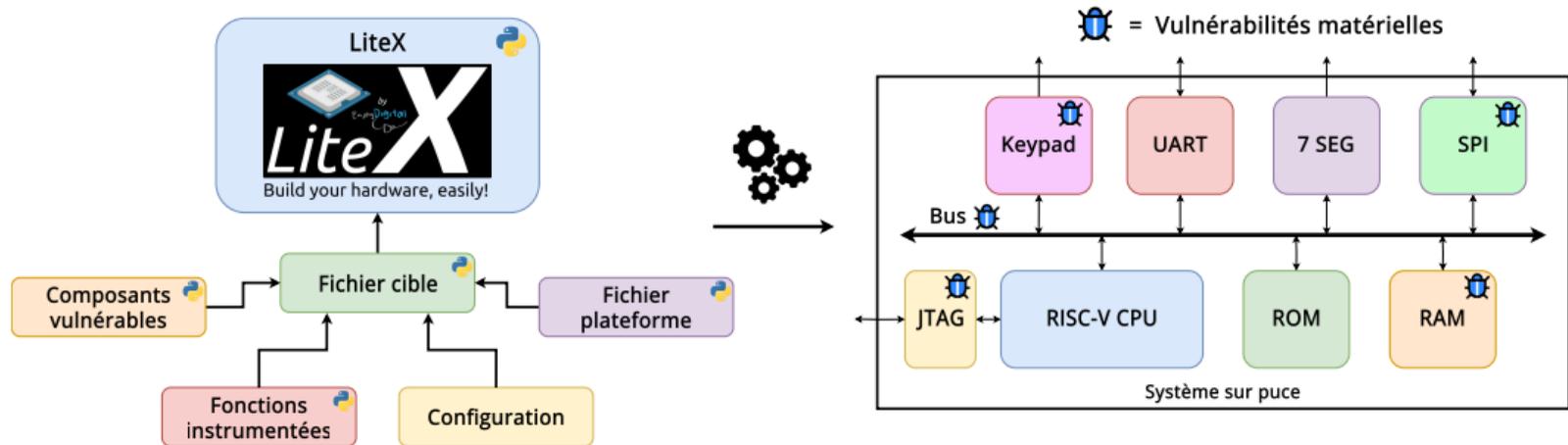
- Open source et développé en Python.
- Écosystème open source (LiteSPI, LiteScope, LiteSATA, LitePCIe...).
- Prévu pour la simulation avec Verilator.



# Architecture de Damn Vuln IoT SoC

## Étapes de génération du matériel

- Configuration des composants vulnérables.
- Instrumentation des fonctions de LiteX à partir du fichier de configuration.
- Génération du système sur puce contenant les vulnérabilités.



# Instrumentation de LiteX

## Création d'un overlap d'adresse entre 2 registres (CWE-1316)

- Récupération de la configuration.
- Allocation d'un même espace mémoire pour 2 registres.

```
# Alloc -----  
def alloc(self, name):  
    config_parser = Config.getInstance()  
    for n in range(self.n_locs):  
        if n not in self.locs.values():  
            if (name == "leds" or name == "jtag") and config_parser.getValue('jtag_lock_overlap') is True:  
                return 10  
            return n  
    self.logger.error("Not enough Locations.")
```

# Résultat de l'instrumentation

- Vulnérabilité exploitable depuis le logiciel.
- Accès au composant JTAG depuis les fonctions de contrôle des LED.

```
...  
  
/* jtag */  
#define CSR_JTAG_BASE (CSR_BASE + 0x5000L)  
#define CSR_JTAG_JTAG_LOCK_ADDR (CSR_BASE + 0x5000L)  
#define CSR_JTAG_JTAG_LOCK_SIZE 1  
static inline uint32_t jtag_jtag_lock_read(void) {  
    return csr_read_simple((CSR_BASE + 0x5000L));  
}  
static inline void jtag_jtag_lock_write(uint32_t v) {  
    csr_write_simple(v, (CSR_BASE + 0x5000L)); // Write to the address CSR_BASE + 0x5000  
}  
  
/* leds */  
#define CSR_LEDS_BASE (CSR_BASE + 0x5000L)  
#define CSR_LEDS_OUT_ADDR (CSR_BASE + 0x5000L)  
#define CSR_LEDS_OUT_SIZE 1  
static inline uint32_t leds_out_read(void) {  
    return csr_read_simple((CSR_BASE + 0x5000L));  
}  
static inline void leds_out_write(uint32_t v) {  
    csr_write_simple(v, (CSR_BASE + 0x5000L)); // Write to the address CSR_BASE + 0x5000  
}  
return go(f, seed, [])  
}
```

# Liste de bugs supportés

## Composants Damn Vuln IoT SoC

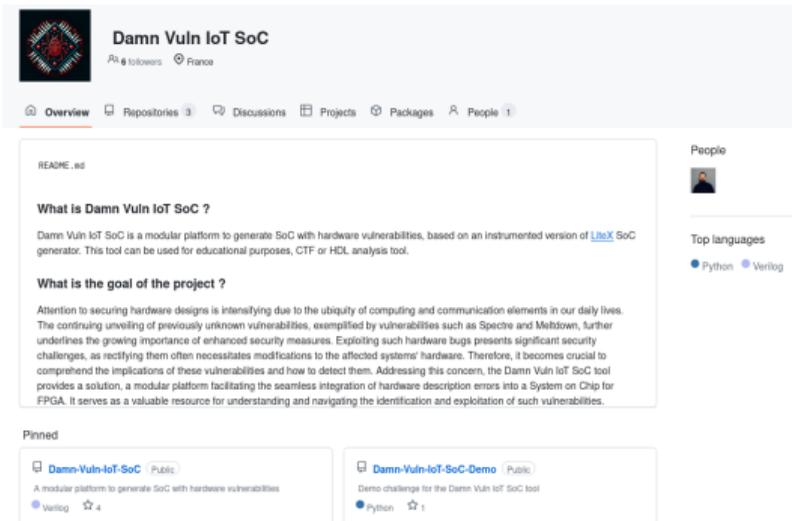
- 8 vulnérabilités matérielles.
- 2 composants vulnérables (JTAG et Keypad).

## Correspondance CWE (non-exhaustif)

- CWE-1260: Improper Handling of Overlap Between Protected Memory Ranges.
- CWE-1189: Improper Isolation of Shared Resources on System-on-a-Chip.
- CWE-1191: On-Chip Debug and Test Interface With Improper Access Control.
- CWE-1256: Improper Restriction of Software Interfaces to Hardware Features.
- CWE-1316: Fabric-Address Map Allows Programming of Unwarranted Overlaps of Protected and Unprotected Ranges.

# Conclusion

- Plateforme jeune et toujours en développement.
- Disponible sur GitHub (<https://github.com/Damn-Vuln-IoT-SoC>)
- Démonstration de différents challenges disponible sur GitHub.
- Utilisation de la plateforme pour développer un CTF.



The screenshot shows the GitHub profile for 'Damn Vuln IoT SoC'. The profile includes a repository overview with a 'README.md' file. The README content is as follows:

**What is Damn Vuln IoT SoC ?**

Damn Vuln IoT SoC is a modular platform to generate SoC with hardware vulnerabilities, based on an instrumented version of [LibSoC](#) SoC generator. This tool can be used for educational purposes, CTF or HDL analysis tool.

**What is the goal of the project ?**

Attention to securing hardware designs is intensifying due to the ubiquity of computing and communication elements in our daily lives. The continuing unveiling of previously unknown vulnerabilities, exemplified by vulnerabilities such as Spectre and Meltdown, further underlines the growing importance of enhanced security measures. Exploiting such hardware bugs presents significant security challenges, as rectifying them often necessitates modifications to the affected system's hardware. Therefore, it becomes crucial to comprehend the implications of these vulnerabilities and how to detect them. Addressing this concern, the Damn Vuln IoT SoC tool provides a solution, a modular platform facilitating the seamless integration of hardware description errors into a System on Chip for FPGA. It serves as a valuable resource for understanding and navigating the identification and exploitation of such vulnerabilities.

**Pinned**

- Damn-Vuln-IoT-SoC** (Public) - A modular platform to generate SoC with hardware vulnerabilities. Languages: Verilog, Stars: 4.
- Damn-Vuln-IoT-SoC-Demo** (Public) - Demo challenge for the Damn Vuln IoT SoC tool. Languages: Python, Stars: 1.

**People**

**Top languages**

- Python
- Verilog

# Perspectives

- Améliorer la plateforme
  - Proposer plus d'instrumentations de fonction.
  - Étendre le catalogue de composants vulnérables.
- Expérimenter des outils d'analyse de vulnérabilité des SoC (SoCFuzzer<sup>1</sup>, FEMU<sup>2</sup>, SHarPen<sup>3</sup>, etc.)

---

<sup>1</sup>Hossain et al., "SoCFuzzer: SoC Vulnerability Detection using Cost Function enabled Fuzz Testing", 2023

<sup>2</sup>Li et al., "FEMU: A firmware-based emulation framework for SoC verification", 2010

<sup>3</sup>Al-Shaikh et al., "SHarPen: SoC Security Verification by Hardware Penetration Test", 2023

# Merci pour votre attention.

## Question ?

Merci à Mohamed AFASSI, Seydina Oumar NIANG et Rébecca SZABO

Ainsi qu'à la communauté LiteX

