# Formation Linux embarqué : construire un système complet

Un système Linux embarqué construit pièce par pièce, et compris de la première instruction du bootloader jusqu'à l'application.

| 4 jours | Débutant à intermédiaire | Sur site ou à distance | Français ou anglais |
|---|---|---|---|
| Durée | Niveau | Format | Langue (supports en anglais) |

## Présentation

Cette formation construit un système Linux embarqué pas à pas, de la toolchain de cross-compilation jusqu'à un produit prêt pour la production. Chaque composant est configuré, compilé et démarré sur une vraie carte : le bootloader, le noyau Linux et son device tree, le rootfs et les services qui y tournent.

## Objectifs

À la fin de la formation, les participants savent :

- construire et utiliser une toolchain de cross-compilation ;
- configurer, compiler et démarrer un bootloader et un noyau Linux sur une vraie carte ;
- décrire et adapter le matériel d'une carte avec le device tree ;
- construire un rootfs et choisir le stockage et les systèmes de fichiers adaptés ;
- choisir entre Buildroot et le Yocto Project pour un produit ;
- préparer un système pour la mise en production : temps réel, temps de boot, sécurité, mises à jour et licences.

### Public

Ingénieurs qui débutent en Linux embarqué ou qui viennent du microcontrôleur, et développeurs qui utilisent une carte Linux embarquée au quotidien et veulent comprendre comment elle est construite.

### Prérequis

Aisance avec la ligne de commande Linux et bases de la programmation en C. Aucune expérience préalable en Linux embarqué n'est nécessaire.

## Programme

Le programme suit l'ordre dans lequel un système est construit et démarre.

### Jour 1

- Les systèmes Linux embarqués, le noyau et le BSP
- Les toolchains de cross-compilation, et leur construction avec crosstool-NG
- Firmware et bootloaders : le démarrage sur x86 et sur les plateformes embarquées, le paysage des bootloaders, Trusted Firmware-A
- Utiliser U-Boot : l'invite de commande, l'environnement, le lancement d'un noyau, le démarrage automatique

### Jour 2

- Compiler et démarrer le noyau Linux : sources, configuration, modules
- Décrire le matériel avec le device tree : syntaxe, bindings, pin muxing, adaptation d'une carte
- Le rootfs : fichiers de périphériques, systèmes de fichiers virtuels, un système minimal avec BusyBox

### Jour 3

- Périphériques bloc et systèmes de fichiers, rootfs en lecture seule et résistance aux coupures de courant
- La flash brute avec MTD, UBI et UBIFS
- Les outils de build : Buildroot et le Yocto Project
- Le démarrage du système avec systemd, la supervision des services et la gestion des périphériques avec udev

### Jour 4

- Réseau, réseaux sans fil et services réseau
- Accéder au matériel depuis l'espace utilisateur (userspace) : GPIO, LED, I2C, SPI et capteurs
- Développement et débogage d'applications sur la cible
- Linux temps réel avec PREEMPT_RT et mesure de la latence
- Temps de boot et gestion de l'énergie (power management)
- Sécurité et mises à jour logicielles
- Du prototype au produit : licences, maintenance et production

## Travaux pratiques et matériel

Les travaux pratiques se font sur des machines QEMU et sur les cartes de notre laboratoire : Arm 32 bits : STM32MP157C-DK2, BeagleBone Black ; Arm 64 bits : Raspberry Pi 4 et 5, NXP i.MX8M Mini, Khadas VIM3 ; x86 : QEMU x86, Machines x86_64 génériques, Kits de développement Intel. D'autres cartes, ou le matériel du client, peuvent être utilisés sur demande.

Les sessions ont lieu sur site, en France, en Belgique, en Suisse, en Allemagne et au-delà, avec le matériel fourni par LABCSMART, ou à distance. À distance, chaque participant dispose de son propre compte SSH et de son espace de travail sur notre serveur de build, et réalise les travaux pratiques sur des machines QEMU et sur de vraies cartes. Les exercices sont tirés de nos projets clients. Les formations sont données en français ou en anglais ; les supports de cours, eux, sont en anglais.

## Qui anime cette formation

La formation est conçue et animée par le fondateur de LABCSMART, ingénieur Linux embarqué et noyau Linux avec plus de onze ans d'expérience industrielle. Il contribue au noyau Linux en amont pour les SoC Renesas RZ, dans les sous-systèmes PCIe, audio, Ethernet, thermique, DMA et horloges, et a écrit deux livres publiés chez Packt, *Linux Device Driver Development, Second Edition* (2022) et *Mastering Linux Device Driver Development* (2021), présentés sur notre page de publications.

**Organiser une session pour votre équipe.** Chaque formation est composée de modules indépendants. Une équipe peut retirer les modules dont elle n'a pas besoin et en ajouter d'autres à la place, et nous construisons aussi des formations sur mesure autour d'un SoC, d'une carte ou d'un projet. Contact : contact@labcsmart.com, https://labcsmart.com/fr/contact/. Page de la formation : https://labcsmart.com/fr/formations/formation-linux-embarque/