



# Formation temps-réel sous Linux avec *PREEMPT\_RT*

Séminaire en ligne, 3 sessions de 4 heures

Dernière mise à jour : 26 April 2024

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titre</b>                   | <b>Formation temps-réel sous Linux avec <i>PREEMPT_RT</i></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Objectifs opérationnels</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Être capable de comprendre et de maîtriser les caractéristiques d'un système d'exploitation temps-réel</li><li>• Être capable de télécharger, compiler et utiliser le patch <i>PREEMPT_RT</i></li><li>• Être capable d'identifier et de benchmarker la plateforme matérielle en terme de caractéristiques temps-réel</li><li>• Être capable de configurer le noyau Linux pour un comportement déterministe</li><li>• Être capable de développer, de tracer et de déboguer des applications user-space temps-réel.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Durée</b>                   | <b>Trois</b> demi-journées - 12 h (4 h par demi-journée)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Méthodes pédagogiques</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Présentations animées par le formateur, par visioconférence. Les participants peuvent poser des questions à tout instant.</li><li>• Démonstrations pratiques réalisées par le formateur, basés sur les travaux pratiques de la formation, par vidéo-conférence. Les participants peuvent poser des questions à tout instant. Optionnellement, les participants qui ont accès aux accessoires matériels de la formation peuvent reproduire par eux-même les travaux pratiques.</li><li>• Messagerie instantanée pour questions entre les sessions (réponse sous 24h, hors week-end et jours fériés)</li><li>• Version électronique des supports de présentation, des instructions et des données de travaux pratiques. Les supports sont librement disponibles sur <a href="https://bootlin.com/doc/training/preempt-rt">https://bootlin.com/doc/training/preempt-rt</a>.</li></ul> |
| <b>Formateur</b>               | Maxime Chevallier<br><a href="https://bootlin.com/company/staff/maxime-chevallier/">https://bootlin.com/company/staff/maxime-chevallier/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Langue</b>                  | Présentations : Français<br>Supports : Anglais                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Public visé</b>            | Entreprises et ingénieurs intéressés dans le développement et le benchmarking d'applications et de drivers temps-réel pour un système Linux embarqué.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Pré-requis</b>             | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Connaissance et pratique des commandes UNIX ou GNU/Linux</b> : les participants doivent être à l'aise avec l'utilisation de la ligne de commande Linux. Les participants manquant d'expérience sur ce sujet doivent se former par eux-mêmes, par exemple en utilisant nos supports de formation disponible à l'adresse <a href="http://bootlin.com/blog/command-line/">bootlin.com/blog/command-line/</a>.</li><li>• <b>Expérience minimale en développement Linux embarqué</b> : les participants doivent avoir une compréhension minimale de l'architecture d'un système Linux embarqué : rôle du noyau Linux par rapport à l'espace utilisateur, développement d'applications espace utilisateur en C. Suivre la formation <i>Linux embarqué</i> de Bootlin, disponible sur <a href="http://bootlin.com/training/embedded-linux/">bootlin.com/training/embedded-linux/</a>, permet de remplir ce pré-requis.</li><li>• <b>Niveau minimal requis en anglais : B1</b>, d'après le <i>Common European Framework of References for Languages</i>, pour nos sessions animées en anglais. Voir <a href="http://bootlin.com/pub/training/cefr-grid.pdf">bootlin.com/pub/training/cefr-grid.pdf</a> pour une auto-évaluation.</li></ul> |
| <b>Équipement nécessaire</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ordinateur avec le système d'exploitation de votre choix, équipé du navigateur Google Chrome ou Chromium pour la conférence vidéo.</li><li>• Une webcam et un micro (de préférence un casque avec micro)</li><li>• Une connexion à Internet à haut débit</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Modalités d'évaluation</b> | Seuls les participants qui auront assisté à l'intégralité des journées de formation, et qui auront obtenu plus de 50% de réponses correctes à l'évaluation finale recevront une attestation individuelle de formation de la part de Bootlin.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Handicap</b>               | Les participants en situation de handicap qui ont des besoins spécifiques sont invités à nous contacter à l'adresse <a href="mailto:training@bootlin.com">training@bootlin.com</a> afin de discuter des adaptations nécessaires à la formation.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



## Plateforme matérielle pour les travaux pratiques

### Carte STMicroelectronics STM32MP157D Discovery Kit 1

- Processeur STM32MP157D (dual Cortex-A7) de STMicroelectronics
- Alimentation par USB
- 512 MB DDR3L RAM
- Ethernet Gigabit
- 4 ports USB 2.0 hôte
- 1 port USB-C OTG
- 1 slot Micro SD
- Debugger ST-LINK/V2-1
- Connecteurs compatibles Arduino
- Codec audio, boutons, LEDs



## 1<sup>ère</sup> demi-journée

### Cours - Introduction au comportement temps-réel et au déterminisme

- Définition d'un système d'exploitation temps-réel
- Spécificités des systèmes multi-tâches
- Principaux patterns de verrouillage et de gestion des priorités
- Aperçu des systèmes temps-réel existants
- Approches pour apporter un comportement temps-réel à Linux



### Cours - Le patch *PREEMPT\_RT*

- Histoire et avenir du patch *PREEMPT\_RT*
- Améliorations temps-réel provenant de *PREEMPT\_RT* dans le noyau Linux officiel
- Fonctionnement interne de *PREEMPT\_RT*
- Gestion des interruptions : interruptions threadées, softirqs
- Primitives de verouillage : mutexes et spinlocks, spinlocks avec sommeil
- Modèles de préemption

### Démo - Compiler un noyau Linux avec *PREEMPT\_RT*

- Télécharger le noyau Linux et appliquer le patch *PREEMPT\_RT*
- Configurer le noyau Linux
- Démarrer le kernel sur une plateforme matérielle

### Cours - Configuration et limites du matériel pour le temps-réel

- Interruptions et firmware
- Interaction avec les fonctionnalités de gestion d'énergie : gestion dynamique de la fréquence du CPU et états de sommeil
- DMA

## 2<sup>ème</sup> demi-journée

### Cours - Outils : Benchmarking, Stress et Analyse

- Benchmarking avec *cyclicttest*
- Stress du système avec *stress-ng* et *hackbench*
- L'infrastructure de *tracing* du noyau Linux
- Analyse de la latence et de l'ordonnement avec *ftrace*, *kernelshark* ou *LTTng*

### Démo - Outils : Benchmarking, Stress et Analyse

- Utilisation des outils de benchmark et de stress
- Techniques classiques de benchmarking
- Benchmarking et configuration de la plateforme matérielle



## Cours - Infrastructures du noyau Linux et configuration

- Bonnes pratiques pour le développement de drivers noyau Linux pour des systèmes temps-réel
- Politiques d'ordonnancement et priorités : *SCHED\_FIFO*, *SCHED\_RR*, *SCHED\_DEADLINE*
- Affinité CPU et IRQ
- Gestion mémoire
- Isolation des CPUs avec *isolcpus*

## 3<sup>ème</sup> demi-journée

### Cours - Patterns de développement d'applications temps-réel

- API POSIX pour les applications temps-réel
- Gestion et configuration des threads
- Gestion mémoire : allocation mémoire et verouillage mémoire, gestion de la pile
- Patterns de verrouillage : mutexes, héritage de priorité
- Communication inter-processus (IPC)
- Signalisation

### Démo - Débugger une application de démonstration

- Créer une application de démonstration déterministe
- Utiliser l'infrastructure de *tracing* pour identifier la source de latence
- Apprendre à utiliser l'API POSIX pour gérer les threads, le verouillage, la mémoire
- Apprendre à utiliser l'affinité CPU et configurer la politique d'ordonnancement

### Questions / réponses

- Questions / réponses avec les participants autour du noyau Linux
- Des présentations supplémentaires s'il reste du temps, selon les sujets qui intéressent le plus les participants.