



## Formation Comprendre la stack graphique sous Linux

Durée de la formation —

 4 demi-journées – 16 h

Langue —

Transparents    Anglais

Présentation    Français  
Anglais

Formateur —

Cette formation n'est plus proposée par Bootlin.

Contact —

 [training@bootlin.com](mailto:training@bootlin.com)

 +33 4 84 25 80 96



### Public visé

Développeurs de systèmes multimédia utilisant le noyau Linux

### Objectifs opérationnels

- Être capable de comprendre les bases de l'affichage graphique : représentation des images et des couleurs, affichage de pixels, opérations sur les pixels.
- Être capable de comprendre le matériel lié à l'affichage graphique : composants du *pipeline* graphique, matériel pour le rendu et l'affichage graphique.
- Avoir une compréhension claire des composants de la pile logicielle pour le graphique dans le noyau Linux et de leurs rôles : TTY, sous-systèmes *framebuffer* et DRM.
- Avoir une compréhension claire de la pile logicielle pour le graphique en espace utilisateur : DRM au niveau espace utilisateur, X.org, Wayland, OpenGL.

### Prérequis

- **Expérience solide en programmation avec le langage C** : les participants doivent maîtriser l'utilisation de types de données et structures complexes, des pointeurs, pointeurs sur fonction et du pré-processeur C.
- **Expérience en développement bas-niveau sous Linux et avec les interfaces matérielles** : les participants doivent avoir une compréhension minimale de la gestion mémoire, de l'interaction avec des interfaces matérielles (registres, interruptions) et de l'interaction entre les applications user-space Linux et le noyau Linux (appels systèmes). Suivre la formation *Développement de pilotes de périphériques noyau Linux* de Bootlin permet de remplir ce pré-requis.
- **Niveau minimal requis en anglais : B1**, d'après le *Common European Framework of References for Languages*, pour nos sessions animées en anglais. Voir la grille CEFR pour une auto-évaluation.

### Méthodes pédagogiques

- Présentations animées par le formateur, par visioconférence. Les participants peuvent poser des questions à tout instant.
- Démonstrations pratiques réalisées par le formateur, par vidéo-conférence. Les participants peuvent poser des questions à tout instant.
- Messagerie instantanée pour questions entre les sessions (réponse sous 24h, hors week-end et jours fériés)
- Version électronique des supports de présentation, des instructions et des données de travaux pratiques. Les supports sont librement disponibles [ici](#).

### Modalités d'évaluation

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.

### Handicap

Les participants en situation de handicap qui ont des besoins spécifiques sont invités à nous contacter à l'adresse [training@bootlin.com](mailto:training@bootlin.com) afin de discuter des adaptations nécessaires à la formation.

## Équipement nécessaire

Équipement obligatoire :

- Ordinateur avec le système d'exploitation de votre choix, équipé du navigateur Google Chrome ou Chromium pour la conférence vidéo.
- Une webcam et un micro (de préférence un casque avec micro)
- Une connexion à Internet à haut débit

Optionnellement, si les participants souhaitant pouvoir reproduire par eux-mêmes les travaux pratiques, ils doivent acheter séparément la carte de développement et les accessoires associés, et devront disposer d'un PC avec une installation native d'Ubuntu Linux 24.04.

## Programme de la formation

### Demi-journée 1

|       |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cours | Représentation des images et des couleurs | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Lumière, pixels et images</li><li>▪ Échantillonnage, domaine de fréquence, aliasing</li><li>▪ Quantification et représentation des couleurs</li><li>▪ Espaces colorimétriques et canaux, canal alpha</li><li>▪ Sous-échantillonnage YUV et chroma</li><li>▪ Plans de données de pixels, ordre d'analyse</li><li>▪ Formats de pixels, codes FourCC codes, modificateurs</li></ul> <p><i>Introduction aux notions de base utilisées pour représenter les images en couleur.</i></p>                             |
| Cours | Dessin des pixels                         | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Accès aux données de pixels et itération</li><li>▪ Concepts autour de la pixellisation</li><li>▪ Dessin de rectangles</li><li>▪ Dessin de gradients linéaires</li><li>▪ Dessin de disques</li><li>▪ Dessin de gradients circulaires</li><li>▪ Dessin de lignes</li><li>▪ Aliasing de lignes et de formes, dessin sub-pixel</li><li>▪ Cercles et coordonnées polaires</li><li>▪ Courbes paramétriques</li></ul> <p><i>Comment accéder aux données de pixels en mémoire et dessiner des formes simples.</i></p> |
| Cours | Opérations sur les pixels                 | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Copie de région</li><li>▪ Alpha blending</li><li>▪ Keying de couleur</li><li>▪ Mise à l'échelle et interpolation</li><li>▪ Filtrage linéaire et convolution</li><li>▪ Filtres de floutage</li><li>▪ Dithering</li></ul> <p><i>Notions de base autour du filtrage, avec des exemples d'utilisation très courants.</i></p>                                                                                                                                                                                      |
| Démo  | Dessin et opérations                      | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Exemples de dessin de divers types de formes et de régions</li><li>▪ Exemples d'opérations de base sur les pixels</li></ul> <p><i>Illustration des concepts présentés au fur et à mesure.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### Demi-journée 2

|       |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cours | Vue d'ensemble des composants du pipeline et généralités | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Types d'implémentations de matériel graphique</li><li>▪ Mémoire graphique et buffers</li><li>▪ Pipelines graphiques</li><li>▪ Vue d'ensemble du matériel d'affichage, de rendu et de vidéo</li></ul> <p><i>Cours du matériel impliqué dans les pipelines graphiques.</i></p> |
|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|       |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cours | Matériel d'affichage                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Technologies d'affichage visuel : CRT, plasma, LCD, OLED, EPD</li> <li>Timings d'affichage, modes et EDID</li> <li>Interfaces d'affichage : VGA, DVI, HDMI, DP, LVDS, DSI, DP</li> <li>Bridges et transcodeurs</li> </ul> <p><i>Cours du fonctionnement interne du matériel d'affichage.</i></p>                                                                                         |
| Cours | Spécificités du matériel de rendu           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Digital Signal Processors (DSPs)</li> <li>Accélérateurs matériels dédiés</li> <li>Graphics Processing Unit (GPUs)</li> </ul> <p><i>Description de l'architecture du matériel de traitement et de rendu.</i></p>                                                                                                                                                                          |
| Cours | Intégration système, mémoire et performance | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intégration graphique et mémoire</li> <li>Mémoire partagée pour les graphiques</li> <li>Contraintes et performance de la mémoire graphique</li> <li>Soulager le processeur en utilisant du matériel dédié au graphisme</li> <li>Conseils pour les performances graphiques</li> </ul> <p><i>Sujets autour de l'intégration système, la gestion de la mémoire et les performances.</i></p> |

### Demi-journée 3

|       |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cours | Pile d'affichage                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vue d'ensemble indépendante du système : noyau, affichage et rendu en espace utilisateur</li> <li>Vue d'ensemble de la partie dans le noyau Linux</li> <li>Vue d'ensemble de la partie bas niveau en espace utilisateur</li> <li>X Window et Wayland</li> <li>Bibliothèques graphiques haut niveau et environnements de bureau</li> </ul> <p><i>Cours des composants nécessaires à un traitement graphique moderne, et comment ceux-ci sont répartis entre les espace noyau et utilisateur</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Cours | Aspects noyau TTY et device framebuffer | <ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction au sous-système TTY de Linux</li> <li>Terminaux virtuels et graphiques</li> <li>Basculer entre terminaux virtuels et graphiques</li> <li>Vue d'ensemble de fbdev</li> <li>Opérations de base de fbdev</li> <li>Limitations de fbdev</li> </ul> <p><i>Comment les TTYs interagissent avec les graphiques sous Linux et brève présentation de fbdev et pourquoi ce composant n'est plus recommandé</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Cours | DRM dans le noyau                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Devices DRM</li> <li>Identification et fonctionnalités des pilotes DRM</li> <li>Maître DRM, "magic authentication"</li> <li>Gestion de la mémoire des DRM</li> <li>API "dumb buffer" de DRM KMS</li> <li>Modificateurs et FourCCs dans DRM</li> <li>Détection des ressources dans DRM KMS</li> <li>Modes DRM KMS</li> <li>Gestion de framebuffer dans DRM KMS</li> <li>Ancien système de configuration de DRM KMS et échange de pages</li> <li>Notification d'événements dans DRM</li> <li>Propriétés d'objets dans DRM KMS</li> <li>DRM KMS atomic</li> <li>Rendu DRM</li> <li>Partage mémoire sans copie (dma-buf) avec DRM Prime</li> <li>Barrières d'objets DRM sync</li> <li>Débug et documentation dans DRM</li> </ul> <p><i>Une présentation complète de l'interface DRM.</i></p> |
| Démo  | Aspects noyau                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Terminaux virtuels et TTYs dans Linux</li> <li>Configuration des modes DRM KMS</li> <li>Visite guidée d'un pilote DRM KMS</li> <li>Visite guidée d'un pilote de rendu DRM</li> </ul> <p><i>Illustration du fonctionnement en espace noyau.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

---

## Demi-journée 4

---

|       |                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cours | Aspects X Window en espace utilisateur | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Protocole X11 et son architecture</li><li>▪ Extensions au protocole X11</li><li>▪ Architecture de Xorg et accélération</li><li>▪ Cours des pilotes Xorg</li><li>▪ Accélération X11 et OpenGL : GLX et DRI2</li><li>▪ Utilisation de Xorg, intégration et configuration</li><li>▪ Principaux problèmes avec X11</li><li>▪ Débug et documentation de Xorg</li></ul> <p><i>Cours des tous les aspects de X11 et Xorg.</i></p>                                                                                                                                                                                                      |
| Cours | Aspects Wayland en espace utilisateur  | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Vue d'ensemble et paradigmes de Wayland</li><li>▪ Protocole Wayland et son architecture</li><li>▪ Détails sur le coeur du protocole Wayland</li><li>▪ Protocoles supplémentaires de Wayland</li><li>▪ Interface asynchrone de Wayland</li><li>▪ Intégration OpenGL de Wayland</li><li>▪ Statut et adoption de Wayland</li><li>▪ Débug et documentation de Wayland</li></ul> <p><i>Une présentation approfondie de Wayland.</i></p>                                                                                                                                                                                              |
| Cours | Aspects Mesa 3D en espace utilisateur  | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ APIs de rendu 3D standardisées : OpenGL, OpenGL ES, EGL and Vulkan</li><li>▪ Vue d'ensemble de Mesa 3D</li><li>▪ Principaux détails d'implémentation de Mesa 3D</li><li>▪ Détails internes de Mesa 3D : Gallium 3D</li><li>▪ Détails internes de Mesa 3D : représentations intermédiaires</li><li>▪ Generic Buffer Management (GBM) dans Mesa 3D</li><li>▪ Point sur la prise en charge du matériel par Mesa 3D</li><li>▪ Mesa 3D comparée aux implémentations propriétaires</li><li>▪ Prise en charge du matériel par Mesa 3D : débug et documentation</li></ul> <p><i>Cours des APIs 3D et implémentation de Mesa 3D.</i></p> |
| Démo  | Aspects en espace utilisateur          | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Visite guidée du code de Xorg</li><li>▪ Visite guidée du coeur du compositeur Wayland</li><li>▪ Exemples de clients Wayland</li><li>▪ Visite guidée du code de Mesa</li><li>▪ Exemples OpenGL et EGL</li></ul> <p><i>Illustration des aspects en espace utilisateur et d'implémentations de clients et de serveurs.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |