

le lancement de l'ESP32-P4

la nouvelle ère des microcontrôleurs

Anant Raj Gupta, Espressif

Bienvenue dans cette nouvelle ère des microcontrôleurs, où se combinent sécurité abordable, performances de pointe et connectivité inégalée. Le microcontrôleur hautes performances promet de réinventer le monde des systèmes embarqués, ouvrant la voie à de nouvelles perspectives pour les développeurs, les ingénieurs et l'ensemble de la communauté de l'Internet des Objets.

Au cœur de ce saut technologique se trouve l'ESP32-P4, un SoC (système sur une puce) soigneusement conçu pour des performances élevées et renforcé par des fonctions de sécurité de premier plan. Ce puissant microcontrôleur est doté d'une mémoire interne étendue, d'impressionnantes capacités de traitement de l'image et du son, et possède des périphériques à grande vitesse. Tous ces éléments sont inclus (**figure 1**) pour offrir la capacité de répondre aux exigences de la nouvelle ère d'applications embarquées.

Le processus de calcul de l'ESP32-P4

Unité centrale et sous-système de mémoire haute performance

Les performances de l'ESP32-P4 sont dopées par un processeur RISC-V double cœur cadencé à 400 MHz. Cette unité centrale est également équipée d'unités à virgule flottante (FPU) à simple précision et d'extensions d'intelligence artificielle, offrant un arsenal de ressources de calcul. L'intégration d'un cœur à basse consommation (LP-Core), capable de fonctionner jusqu'à 40 MHz, vient compléter ce dispositif. Cette architecture « grand-petit » est essentielle pour les applications à très faible consommation qui exigent des pics occasionnels de puissance de calcul.

Dans la quête des performances exceptionnelles, l'ESP32-P4 se distingue, comme l'illustre la **figure 2** en comparant ses performances à celles d'autres produits Espressif tels que l'ESP32 et l'ESP32-S3.

Architecture de la mémoire pour une efficacité inégalée

L'accès à la mémoire est un facteur essentiel de garantie de performances sans faille. Le système de mémoire de l'ESP32-P4 est un maître d'efficacité. Avec 768 Ko de SRAM sur la puce, reconfigurables en cache en cas de disponibilité de PSRAM externe, et 8 Ko de RAM TCM sans délai d'attente pour une mise en mémoire tampon rapide des données, ce SoC garantit que la latence et la capacité d'accès à la mémoire ne sont jamais des goulots d'étranglement pour vos applications.

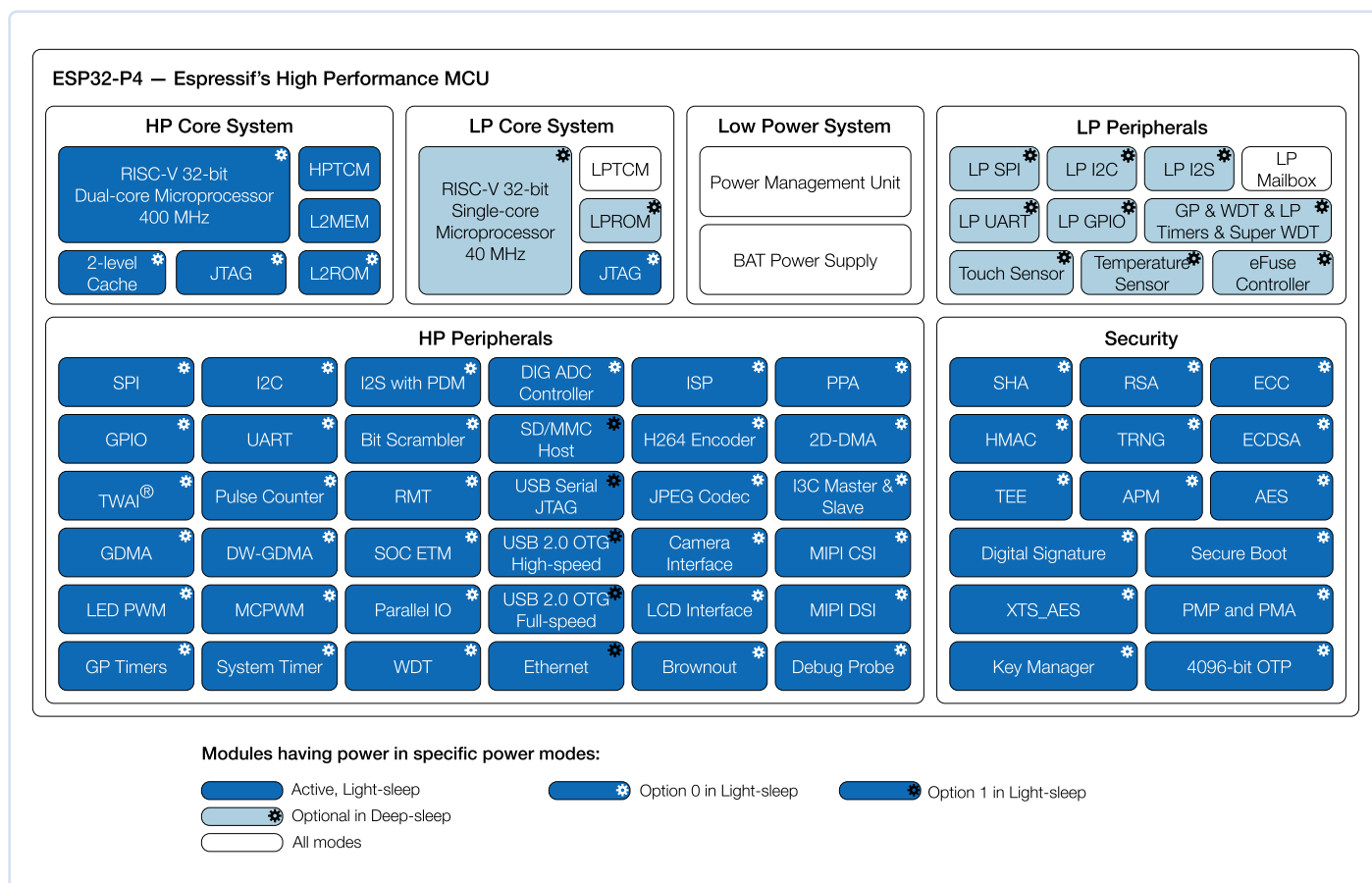


Figure 1. Schéma fonctionnel de l'ESP32-P4.

De plus, la mémoire externe de l'ESP32-P4 est directement accessible, offrant un espace contigu de 64 Mo pour l'accès aux mémoires flash et PSRAM via le cache. La mémoire interne de 768 Ko peut être configurée comme L2MEM, partitionnée pour les instructions et les données, et est complétée par un cache d'instructions L1 dédié de 16 Ko et un cache de données L1 de 64 Ko. Une mémoire supplémentaire de 8 Ko étroitement couplée au cœur HP assure un accès à cycle unique aux données stockées. La PSRAM SPI offre la possibilité de lire et d'écrire sur seize lignes DDR, tout en améliorant la prise en charge du fonctionnement à une vitesse d'horloge de 250 MHz, produisant un débit de données maximal de 1 Go/s. Cette architecture de mémoire à plusieurs niveaux est conçue pour rendre l'accès à la mémoire presque transparent aux applications, ce qui améliore substantiellement leurs performances.

Traitement personnalisé pour les charges de travail d'IA et de DSP

L'ESP32-P4 est doté d'un processeur RISC-V 32 bits à double cœur qui prend en charge les extensions RV32IMAFDZc standard. Cependant, ce qui le distingue vraiment, c'est son jeu d'instructions étendu et personnalisé. Ce jeu est conçu pour réduire le nombre d'instructions dans les corps de boucle, ce qui améliore considérablement

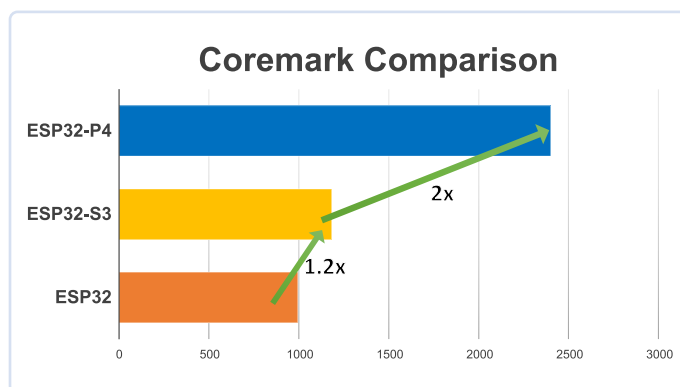


Figure 2. Comparaison des critères de référence.

les performances. De plus, le SoC incorpore des extensions IA et de traitement de signal (DSP) personnalisées, optimisant l'efficacité opérationnelle d'algorithmes IA et DSP spécifiques. Ces instructions vectorielles personnalisées permettent à l'ESP32-P4 de s'atteler à des tâches telles que les réseaux neuronaux et l'apprentissage profond, permettant ainsi un calcul accéléré et efficace.

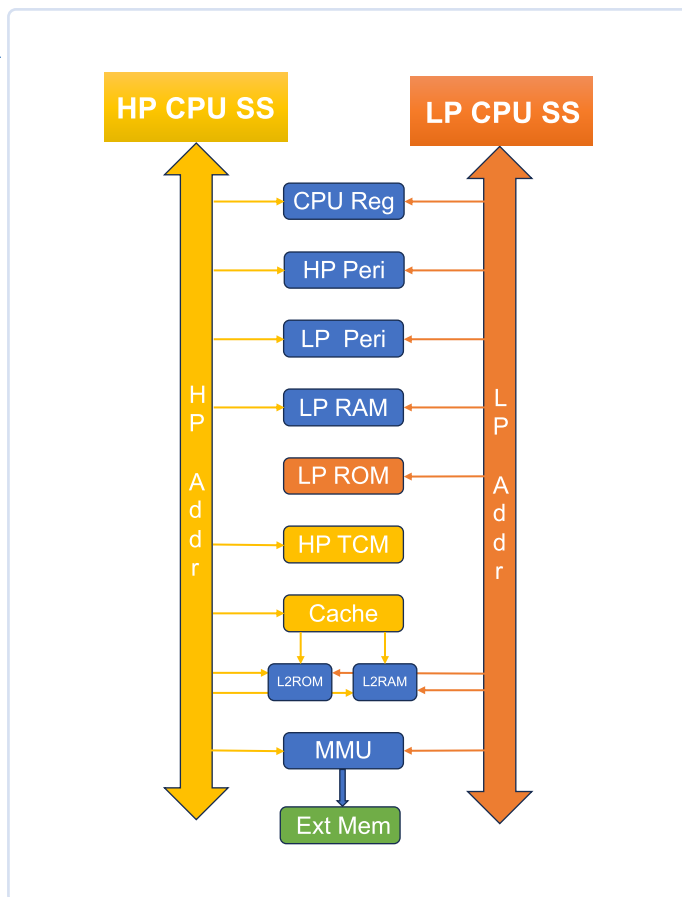


Figure 3. Accès à l'espace d'adressage de l'ESP32-P4.

Accès efficace à la mémoire pour chaque cœur

Comme le montre la **figure 3**, l'architecture d'accès à la mémoire de l'ESP32-P4 garantit que tous les périphériques et la mémoire sont accessibles à partir des cœurs HP et LP.

Cette configuration permet au cœur LP de gérer la plupart des fonctions et de ne réveiller le cœur HP que lorsqu'un calcul de haute performance est nécessaire. En outre, les périphériques du cœur LP permettent d'exécuter des fonctions critiques même dans les modes de consommation les plus faibles. Grâce à ces caractéristiques, l'ESP32-P4 apparaît comme le choix idéal pour les applications nécessitant des capacités de calcul de pointe tout en maintenant une faible consommation d'énergie sur de longues périodes.

Une sécurité de premier ordre

Démarrage sécurisé

La sécurité n'a pas été ajoutée après coup, elle a été à la base du développement de l'ESP32-P4. Elle a été soigneusement conçue pour mettre des solutions de sécurité à la portée de tous. Le démarrage sécurisé, une fonction de sécurité essentielle, protège l'appareil contre l'exécution de codes non autorisés et non signés. Il vérifie minutieusement chaque logiciel, y compris le chargeur de démarrage de deuxième niveau et chaque binaire d'application. Comme l'indique la **figure 4**, le chargeur de premier niveau, implanté en ROM, est inaltérable et n'a pas besoin d'être signé. L'ESP32-P4 offre une grande souplesse en prenant en charge les systèmes de vérification du démarrage sécurisé basés sur RSA-PSS et ECDSA, ECDSA offrant une sécurité comparable à celle de RSA, mais avec des longueurs de clé plus courtes.

Chiffrement de la mémoire Flash

L'ESP32-P4 innove avec le chiffrement de la mémoire flash externe. Lorsque cette fonction est activée, le micrologiciel est initialement flashé en clair, puis chiffré lors du premier démarrage. Cela signifie que les tentatives physiques de lecture de la mémoire flash ne permettront pas de récupérer des données significatives. Dans ce mode de fonctionnement, tous les accès en lecture à la mémoire flash sont déchiffrés de manière transparente et sécurisée à l'exécution. L'ESP32-P4 utilise le mode de chiffrement par bloc XTS-AES avec une clé robuste de 256 bits pour le chiffrement de la mémoire flash, ce qui garantit une protection de premier ordre des données.

Accélération matérielle de la cryptographie

L'ESP32-P4 est équipé d'une suite complète d'accélérateurs cryptographiques matériels, prêts à utiliser une série d'algorithmes standard dans les applications de réseau et de sécurité, notamment AES-128/256, SHA, RSA, ECC et HMAC, améliorant la capacité de l'ESP32-P4 à sécuriser la transmission, le stockage et l'authentification des données, ce qui en fait un choix exceptionnel pour les applications sensibles à la sécurité.

Protection des clés privées

La protection des clés privées est primordiale, et l'ESP32-P4 utilise

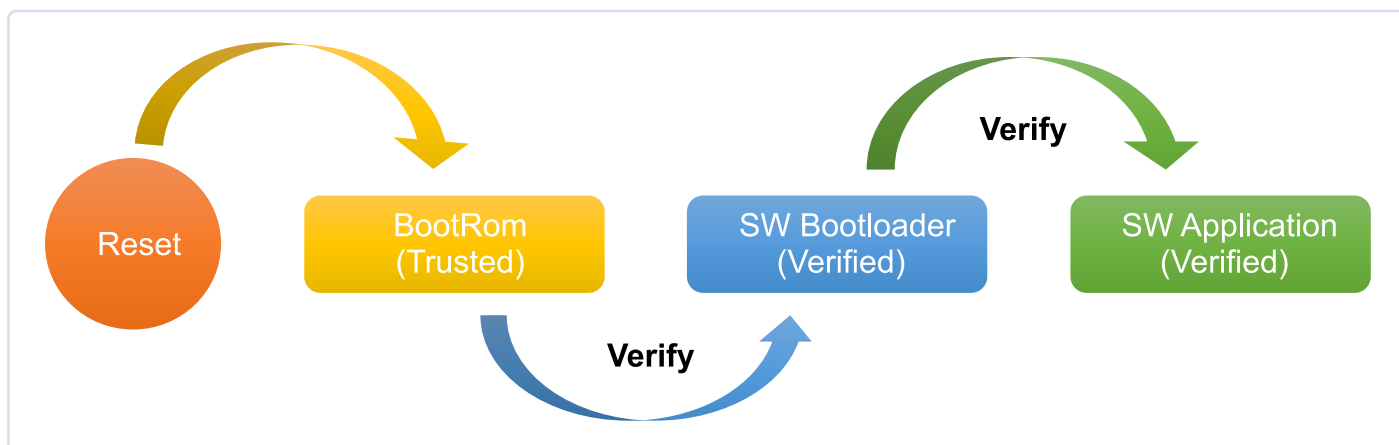


Figure 4. Processus de démarrage sécurisé.

des mécanismes robustes pour garantir leur sécurité. Le SoC génère des clés privées sur la puce, inaccessibles aux attaques logicielles ou physiques en texte clair.

Grâce à cette production de clés interne accélérée par le matériel, les applications peuvent effectuer des opérations de signature avec une clé privée chiffrée jamais exposée en clair. L'ESP32-P4 exploite un gestionnaire de clés qui utilise des fonctions non physiquement clonables (PUF) propres à chaque puce pour générer une clé matérielle unique (HUK), qui sert de racine de confiance (Root of Trust, RoT) pour la puce et est automatiquement générée à chaque mise sous tension, disparaissant lorsque la puce est éteinte. La protection matérielle de la clé privée de l'ESP32-P4 garantit une sécurité inégalée pour les opérations sensibles.

Contrôle d'accès

L'ESP32-P4 porte le contrôle d'accès à un niveau supérieur grâce à la protection matérielle de l'accès, qui facilite la gestion des autorisations d'accès et la séparation des privilèges (**figure 5**). Ce système se compose de deux éléments : la protection de la mémoire physique (PMP) et la gestion des autorisations d'accès (APM). La PMP gère l'accès du CPU à tous les espaces d'adressage, tandis que l'APM s'occupe de l'accès à la ROM et à la SRAM. La PMP doit autoriser l'accès du CPU à la ROM et à la SRAM HP avant que l'APM puisse intervenir pour les autres espaces d'adressage. En cas de refus, les contrôles de l'APM ne sont pas effectués. Cette approche par couches garantit un contrôle d'accès solide, faisant de l'ESP32-P4 le bon choix pour une large gamme d'applications.

Périphériques divers et interface homme-machine (IHM)

Une expérience visuelle et tactile améliorée

L'ESP32-P4 améliore l'expérience IHM grâce à sa prise en charge des interfaces MIPI-CSI (Interface Série pour Caméras) et MIPI-DSI (Interface Série pour Affichage). Intégrée au traitement du signal d'image (ISP) sur l'interface MIPI-CSI, cette fonction permet au SoC de gérer les principaux formats d'entrée, tels que RAW8, RAW10 et RAW12, avec des résolutions allant jusqu'au Full HD (1920×1080) à 30 images par seconde (ips). Cette capacité le rend idéal pour des applications telles que les caméras IP (**figure 6**) et les sonnettes de porte vidéo qui exigent des entrées de caméra à haute résolution. Côté affichage, l'interface MIPI-DSI de l'ESP32-P4 prend en charge deux voies à 1,5 Gbps, ce qui se traduit par une prise en charge de l'affichage en HD 720 p à 60 ips ou en Full HD 1080 p à 30 ips. L'intégration d'entrées tactiles capacitives et de fonctions de reconnaissance vocale fait de l'ESP32-P4 une plateforme idéale pour toute application basée sur une IHM, des panneaux de commande interactifs aux contrôleurs de charge.

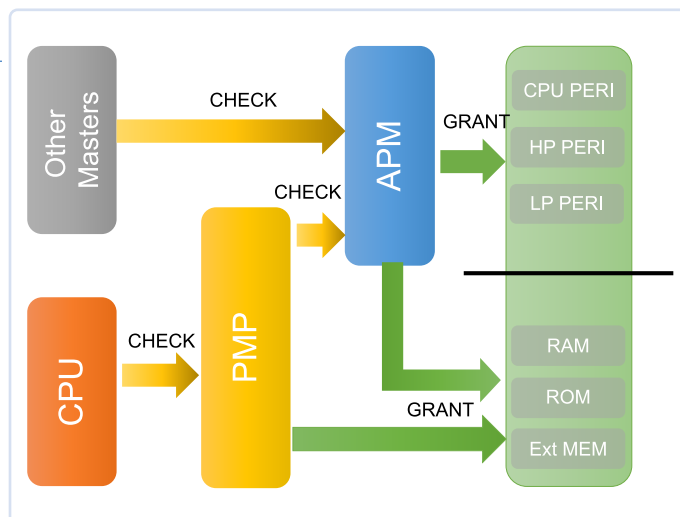


Figure 5. Contrôle d'accès sur l'ESP32-P4.

Traitement des médias

L'ESP32-P4 ne s'arrête pas aux caméras et aux écrans ; elle se prête à des tâches d'encodage et de compression des médias. Grâce à la prise en charge intégrée du format H.264 et d'autres formats d'encodage, l'ESP32-P4 permet la diffusion et le traitement de vidéos. Ces fonctions peuvent être exploitées pour créer des solutions de caméras IP économiques, en tirant parti des divers périphériques IHM mentionnés plus haut. Le SoC dispose également d'un accélérateur matériel de traitement des pixels (PPA) intégré, adapté au développement d'interfaces utilisateur graphiques.

Prise en charge étendue des GPIO et des périphériques

Avec un nombre remarquable de 55 GPIO programmables, l'ESP32-P4 établit un nouveau standard pour les produits Espressif. Il gère divers protocoles d'usage courant, tels que SPI, I2S, I2C, LED PWM, MCPWM, RMT, ADC, DAC, UART et TWAI/TM. L'ESP32-P4 prend en charge USB OTG 2.0 HS, Ethernet et SDIO Host 3.0 pour une connectivité à grande vitesse.

Connectivité continue sans fil

Pour les applications nécessitant une connectivité sans fil, l'ESP32-P4 s'associe sans difficulté aux produits de la série ESP32-C/S/H en tant que puce compagne sans fil. C'est réalisable via SPI/SDIO/UART à l'aide des solutions ESP-Hosted ou ESP-AT. Avec ESP-Hosted, le développement d'applications reste très proche du travail avec une puce à connectivité sans fil intégrée. De plus, l'ESP32-P4 peut servir de microcontrôleur hôte pour d'autres solutions de connectivité, notamment ACK et AWS IoT ExpressLink. Les développeurs peuvent s'appuyer sur l'environnement de développement IdO mature d'Espressif (ESP-IDF) pour le support, en tirant parti de leur connaissance d'une plateforme qui équipe déjà des millions d'objets connectés.

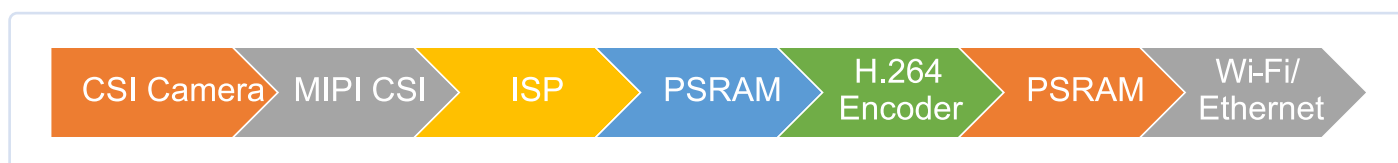


Figure 6. Exemple de flux de données pour une caméra IP.

Bâtir l'avenir avec l'ESP32-P4

L'ESP32-P4 représente une nouvelle ère dans le domaine des micro-contrôleurs, grâce à ses performances, sa sécurité et sa connectivité, qui permettent aux développeurs de donner vie à leurs idées les plus audacieuses. L'ESP32-P4 est une plateforme polyvalente, sûre et performante.

L'avenir de l'IdO est prometteur, et l'ESP32-P4 se place à la pointe de cette évolution, en offrant un traitement plus rapide et plus efficace. L'informatique de pointe rapprochera l'intelligence des sources de données. L'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique permettront aux objets de l'IdO de prendre des décisions intelligentes et autonomes. L'ESP32-P4 est prêt à accueillir cette évolution, avec sa puissance de traitement, sa sécurité robuste et sa communauté dynamique de développeurs.

L'ESP32-P4 représente un immense saut dans le monde des micro-contrôleurs. Ce n'est pas seulement une puce, c'est une invitation à l'innovation. Que vous soyez un développeur chevronné ou un nouveau venu passionné, l'ESP32-P4 vous permet de réaliser vos idées. Franchissez le pas, explorez le potentiel de l'ESP32-P4 et participez à la mutation que représente ce microcontrôleur.

Ensemble, nous pouvons bâtir l'avenir de l'IdO et créer un monde plus connecté, plus efficace et plus sûr. 

Vf : Helmut Müller — 230615-04

Questions ou commentaires ?

Contactez Espressif via le code QR ou Elektor à l'adresse redaction@elektor.fr.



À propos de l'auteur

Anant Gupta est un directeur du marketing technique avec plus de 15 ans d'expérience dans l'architecture de système, l'architecture IP et la conception de SoC. Il est passionné par l'innovation et la résolution des problèmes des clients d'Espressif Systems.



Produits

> Produits ESP32 d'Espressif
<http://www.elektor.fr/espressif>



les composants les plus intéressants d'ESP-IDF

Ce n'est pas seulement Node.js qui a *npm* ou Python qui a *pip*. ESP-IDF dispose également d'un gestionnaire de composants, où vous pouvez importer dans votre projet des composants fournis par Espressif et des composants tiers.

Les composants consistent en une bibliothèque logicielle accompagnée d'exemples et de documentation qui vous aident à les utiliser dans votre projet. Vous trouverez ici une variété de bibliothèques logicielles pour votre projet, allant de différents pilotes de périphériques, d'intergiciels (par exemple, LVGL porting), à différents paquets de support pour différentes cartes.

Cette liste s'enrichit continuellement au fur et à mesure de l'ajout de composants Espressif et de composants

tiers. En tant que développeur open-source, vous pouvez également créer vos propres composants et les enregistrer ici afin que les autres développeurs puissent les trouver facilement.

<https://components.espressif.com>

