



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et
Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة
École Nationale Supérieure des Technologies
Avancées



Département de Génie Électrique et Informatique Industrielle

Spécialité : Systèmes Embarqués

Rapport de Mini Projet

Réalisation d'un système photovoltaïque intelligent à suivi solaire

Fait par :

Rahal Dounia
Boukellal Zineb

Rapport examiné par :

Cherabit Noureddine

Année universitaire : 2025/2026

Table des matières

1	Introduction	1
2	Description générale	1
3	Matériels utilisés	2
3.1	Cartes de commande	2
3.2	Capteurs	3
3.3	Actionneur	6
3.4	Autres composants	7
4	Architecture du système	9
4.1	Schéma de connexion	9
4.2	Communication entre ESP8266 et Arduino	9
5	Principe de fonctionnement	10
5.1	Suivi solaire (Solar Tracking)	10
5.2	Mesures électriques	10
5.3	Surveillance environnementale	11
5.4	Transmission et supervision	11
6	Application mobile (Supervision)	12
7	Résultats obtenus	12
7.1	Comportement du panneau face à la lumière	12
7.2	Précision du suivi solaire	12
7.3	Valeurs mesurées	13
7.4	Captures d'écran de l'application	13
8	Difficultés rencontrées et solutions	13
8.1	Problèmes techniques	13
8.2	Solutions apportées	13
8.3	Améliorations possibles	14
9	Conclusion	14

Table des figures

1	Système photovoltaïque intelligent	1
2	Carte Arduino UNO	2
3	Carte ESP8266	3
4	Capteur LDR	4
5	Capteur de courant	4
6	Capteur de couleur	5
7	Capteur DHT11	6
8	Servo-moteur S3003	6
9	Panneau photovoltaïque	7
10	Résistances	7
11	Condensateur	8
12	Fils de connexion	8
13	Batterie	8
14	Schéma de connexion du système	9
15	Branchement des composants	10
16	Interface de l'application Blynk	12

1 Introduction

Un système photovoltaïque permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique en utilisant des panneaux solaires. C'est une solution cruciale dans le domaine des énergies renouvelables car cela garantit une autonomie vis-à-vis des ressources des énergies classiques et des avantages pour l'environnement. Par contre, l'exploitation de ces systèmes est affectée par l'orientation du panneau et l'intensité du rayonnement solaire. Ainsi, ce travail vise à concevoir et réaliser un système photovoltaïque intelligent en se basant sur les principes des systèmes embarqués pour accroître l'exploitation de l'énergie solaire. Le projet justifie l'utilité de recours aux capteurs et aux microcontrôleurs pour la surveillance et la commande des systèmes photovoltaïques.

2 Description générale

Ce mini-projet consiste en la réalisation d'un système photovoltaïque intelligent basé sur les systèmes embarqués. Le système a pour objectif de suivre automatiquement la direction du soleil afin d'optimiser la production d'énergie électrique, tout en permettant la surveillance de plusieurs paramètres électriques et environnementaux.

Le dispositif utilise deux cartes de commande : Arduino UNO et ESP8266, avec une répartition des tâches pour assurer un fonctionnement optimal. L'Arduino UNO est chargé du contrôle du mouvement du panneau solaire, tandis que l'ESP8266 gère la lecture et le traitement des données des capteurs.

Le système comprend plusieurs capteurs permettant de mesurer la luminosité et le courant électrique, ainsi que la température, l'humidité et la présence de poussière. Ces données sont transmises et affichées en temps réel sur un smartphone via le réseau Wi-Fi grâce à l'application Blynk, ce qui permet une supervision facile et efficace du système.

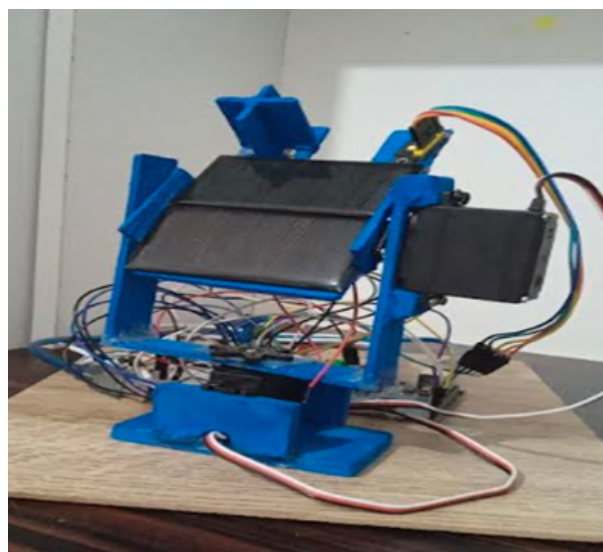


Fig. 1 : Système photovoltaïque intelligent

3 Matériels utilisés

3.1 Cartes de commande

3.1.1 Arduino UNO

Arduino UNO est un microcontrôleur open-source utilisé pour concevoir et expérimenter des circuits électroniques et contrôler facilement des dispositifs et des capteurs.

Caractéristiques techniques

- Microcontrôleur : ATmega328P (8 bits).
- Tension de fonctionnement : 5V.
- Tension d'alimentation : 7-12V.
- Vitesse d'horloge : 16 MHz.
- Mémoire Flash : 32 Ko.
- SRAM : 2 Ko.
- EEPROM : 1 Ko.
- Entrées/Sorties numériques (E/S) : 14 (dont 6 offrent une sortie PWM).
- Entrées analogiques : 6 (résolution 10 bits).
- Intensité par broche E/S : 40 mA (40 mA maximum, recommandé 20 mA).
- Intensité pour la broche 3.3V : 50 mA.
- Interfaces de communication : UART (Série), I2C, SPI.
- Dimensions : 74 x 53 x 15 mm (poids d'environ 25-30g).



Fig. 2 : Carte Arduino UNO

3.1.2 ESP8266

ESP8266 est un microcontrôleur avancé intégrant le Wi-Fi. Il est utilisé dans les applications d'Internet des objets (IoT) pour collecter, traiter et transmettre des données sans fil.

Caractéristiques techniques

- Processeur : Tensilica Xtensa LX106 32-bit RISC
- Fréquence : 80 MHz (par défaut), peut aller jusqu'à 160 MHz
- Mémoire Flash : Supporte généralement 512 Ko à 4 Mo (ou 16 Mo) externes
- RAM : 64 Ko RAM instruction, 96 Ko RAM data
- Wi-Fi : 802.11 b/g/n (2.4 GHz) avec support WEP/WPA/WPA2
- GPIO : 16 à 17 broches d'entrée/sortie (dont PWM, I2C, SPI, UART)
- Entrée analogique : 1x ADC 10 bits
- Tension de fonctionnement : 3.3 V
- Modes : Station, Access Point (AP)
- Consommation : Très faible



Fig. 3 : Carte ESP8266

3.2 Capteurs

3.2.1 Capteurs LDR (détection de la lumière)

Les LDR sont des résistances dépendantes de la lumière dont la valeur varie en fonction de l'intensité lumineuse. Elles sont utilisées dans les systèmes de détection de lumière et d'automatisation.

Caractéristiques techniques

- Résistance dans l'obscurité : très élevée, souvent supérieure à $1\text{ M}\Omega$ à $10\text{ M}\Omega$.
- Résistance à la lumière : faible, typiquement de l'ordre de $100\text{ }\Omega$ à $10\text{ k}\Omega$ selon l'intensité lumineuse.
- Tension maximale : généralement jusqu'à 150 V (DC ou AC).
- Puissance maximale : faible, souvent de l'ordre de 100 mW .
- Temps de réponse : Relativement lent (quelques dizaines de millisecondes).

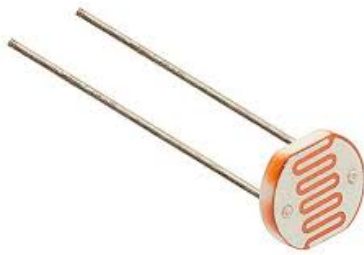


Fig. 4 : Capteur LDR

3.2.2 Capteur de courant ACS712

Le capteur de courant permet de mesurer l'intensité du courant électrique circulant dans un circuit. Il est utilisé pour la surveillance énergétique et la protection des circuits.

Caractéristiques techniques

- Dimensions : $31 \times 13 \times 15\text{ mm}$
- Puce : ACS712ELEC-30A
- Gamme de courant mesuré : -30 A à $+30\text{ A}$
- Sensibilité : 66 mV/A
- Consommation : 10 mA
- Erreur : 1.5% à 25°C
- Alimentation : 5 VDC ($4.5\text{--}5.5\text{ VDC}$)



Fig. 5 : Capteur de courant

3.2.3 Capteur de couleur TCS3472 (détection de poussière)

Le capteur TCS3472 est capable de détecter et distinguer différentes couleurs en analysant la lumière réfléchiée. Il est utilisé dans les systèmes de reconnaissance et de détection des couleurs.

Caractéristiques techniques

- Interface : I2C (adresse par défaut 0x29).
- Tension d'alimentation : 3.3V à 5V DC.
- Résolution : Convertisseur analogique-numérique (CAN) 16 bits.
- Sensibilité : Très élevée, adapté à la détection sous verre sombre.
- Gain et temps d'intégration : Programmables.
- Température de fonctionnement : -40°C à +85°C.

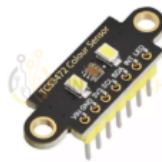


Fig. 6 : Capteur de couleur

3.2.4 Capteur de température et humidité DHT11

Le capteur DHT11 est un capteur numérique permettant de mesurer la température et l'humidité de l'environnement. Il est couramment utilisé dans les applications de surveillance climatique.

Caractéristiques techniques

- Tension d'alimentation : 3V à 5.5V DC.
- Plage de Mesure d'Humidité : 20 % à 90 % RH.
- Précision Humidité : $\pm 5\%$ RH.
- Plage de Mesure Température : 0 °C à 50 °C.
- Précision Température : $\pm 2^\circ\text{C}$.
- Consommation : 0.5 mA en opération, 60 μA à 2.5 mA en veille.
- Période d'échantillonnage : 1 Hz (une fois par seconde).



Fig. 7 : Capteur DHT11

3.3 Actionneur

3.3.1 Servo-moteur S3003 (orientation du panneau)

Les servomoteurs sont des moteurs électriques permettant un contrôle précis de la position ou de l'angle. Ils sont utilisés dans les systèmes robotiques et mécaniques.

Caractéristiques techniques

- Tension de fonctionnement : 4.8 V - 6.0 V
- Couple de blocage : 3.2 kg/cm (4.8 V); 4.1 kg/cm (6.0 V)
- Vitesse de fonctionnement : 0.23 s/60° (4.8 V); 0.19 s/60° (6.0 V)
- Poids : 37.2 g - 38 g
- Dimensions : 40.4 x 19.8 x 36.0 mm



Fig. 8 : Servo-moteur S3003

3.4 Autres composants

3.4.1 Panneau photovoltaïque (80×40)

Le panneau photovoltaïque permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Il est utilisé dans les systèmes de production d'énergie renouvelable.

Caractéristiques techniques

- Puissance nominale : Environ 0.45 W à 0.5 W.
- Tension nominale : Généralement 6 V.
- Courant nominal : Entre 60 mA et 75 mA.
- Type de cellule : Silicium monocristallin ou polycristallin

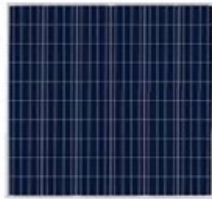


Fig. 9 : Panneau photovoltaïque

3.4.2 Résistances

Les résistances sont des composants électroniques utilisés pour limiter le courant, diviser la tension et protéger les circuits.



Fig. 10 : Résistances

3.4.3 Condensateur

Le condensateur est un composant électronique qui permet de stocker temporairement l'énergie électrique. Il est utilisé pour stabiliser la tension et réduire les perturbations électriques.

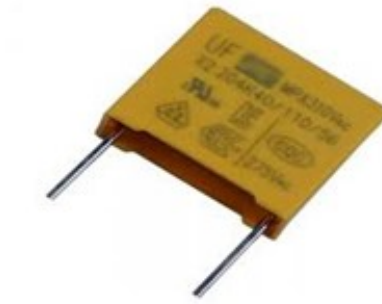


Fig. 11 : Condensateur

3.4.4 Fils de connexion

Les fils de connexion servent à relier les différents composants électroniques entre eux et assurer le passage du courant et des signaux.



Fig. 12 : Fils de connexion

3.4.5 Alimentation

L'alimentation fournit l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des circuits et des composants électroniques.



Fig. 13 : Batterie

4 Architecture du système

4.1 Schéma de connexion

Le schéma de connexion illustre comment les différents composants sont interconnectés pour former le système complet. Chaque élément a une fonction spécifique et est relié aux autres selon une logique précise.

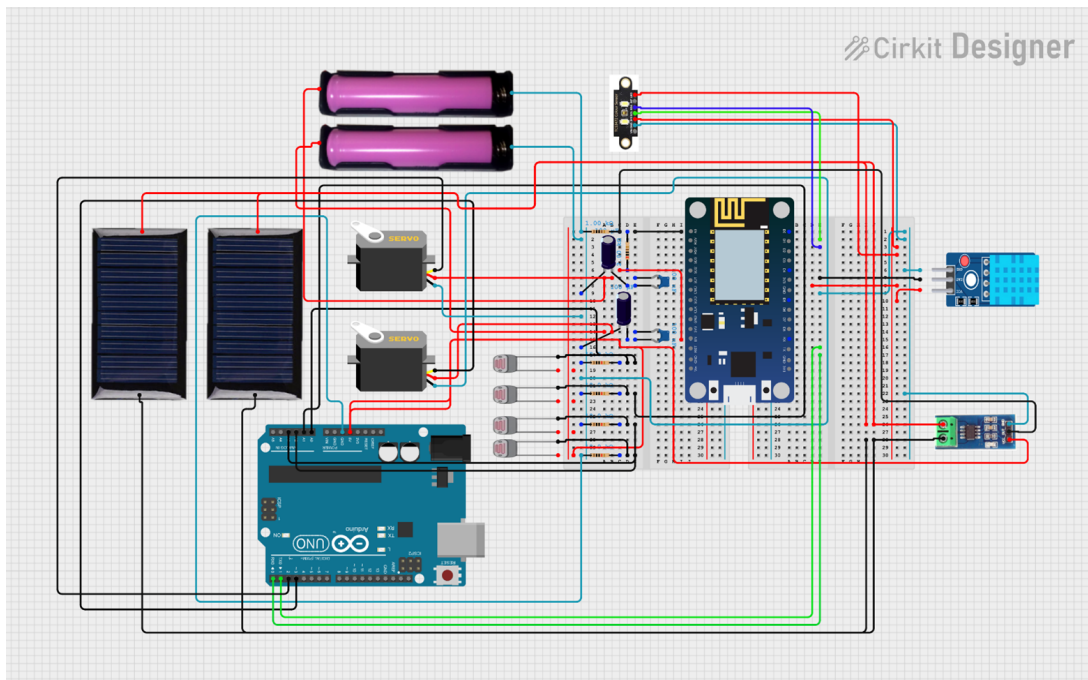


Fig. 14 : Schéma de connexion du système

4.2 Communication entre ESP8266 et Arduino

La communication entre Arduino UNO et ESP8266 se fait par une liaison série UART. Le principe de connexion est le suivant :

- TX de l'Arduino UNO est connecté au RX de l'ESP8266
- RX de l'Arduino UNO est connecté au TX de l'ESP8266

Cette connexion croisée permet l'échange correct des données entre les deux cartes.

L'Arduino UNO joue le rôle de maître pour le suivi solaire. Il traite les informations provenant des capteurs LDR et calcule les valeurs nécessaires au contrôle du système. Ensuite, il envoie quatre valeurs principales à l'ESP8266 :

1. La position du servo-moteur horizontal, correspondant à l'orientation gauche/droite du panneau solaire

2. La position du servo-moteur vertical, correspondant à l'orientation haut/bas du panneau
3. La différence de luminosité entre la partie droite et la partie gauche, utilisée pour corriger l'orientation horizontale
4. La différence de luminosité entre la partie supérieure et la partie inférieure, utilisée pour corriger l'orientation verticale

L'ESP8266 reçoit ces données via la communication série, les traite et les utilise pour la supervision du système et l'affichage des informations sur l'application mobile Blynk.

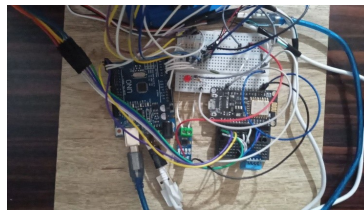


Fig. 15 : Branchement des composants

5 Principe de fonctionnement

Le système photovoltaïque intelligent que nous avons réalisé fonctionne selon plusieurs principes combinés, impliquant la détection, le traitement des données et le contrôle mécanique.

5.1 Suivi solaire (Solar Tracking)

Le suivi solaire est assuré grâce aux capteurs LDR. Ces capteurs détectent l'intensité lumineuse provenant de différentes directions.

- L'Arduino UNO compare les valeurs des LDR pour déterminer la direction où la lumière est la plus forte
- Selon cette direction, le servo-moteur ajuste l'orientation du panneau solaire pour qu'il soit toujours perpendiculaire aux rayons du soleil
- Cette action permet d'optimiser la quantité d'énergie captée par le panneau

5.2 Mesures électriques

Le système mesure en continu les grandeurs électriques produites par le panneau photovoltaïque :

- Courant (I) : mesuré par le capteur de courant

Lorsqu'il y a du soleil, **le courant est de 143 mA** car nous utilisons deux panneaux solaires de 80x40 mm branchés en parallèle. Cependant, en l'absence de soleil (obscurité), **le courant tombe à zéro**.

5.3 Surveillance environnementale

Pour garantir un fonctionnement optimal du panneau et de l'ensemble du système, plusieurs paramètres environnementaux sont surveillés :

- Température et humidité : mesurées par le capteur dédié pour détecter les conditions climatiques
- Présence de poussière : nous avons conçu notre système pour détecter l'accumulation de poussière en mesurant les variations de la lumière réfléchie. Le capteur TCS34725 fournit une valeur numérique représentant l'intensité de la réflexion lumineuse : un panneau propre absorbe davantage la lumière, tandis que les particules de poussière la réfléchissent plus fortement.

Nous avons configuré le capteur avec un temps d'intégration de 50 ms et un gain de 4X :

```
Adafruit_TCS34725 tcs(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS, TCS34725_GAIN_4X);
```

Cette configuration permet d'obtenir une valeur maximale théorique de 20 480, car chaque cycle de mesure élémentaire (2.4 ms) génère une valeur maximale de 1024, et 20 cycles consécutifs ($50 \text{ ms} / 2.4 \text{ ms} \approx 20$) atteignent ce plafond numérique (20×1024).

Nous avons établi **une valeur de référence de 1.00** correspondant à un état de propreté totale. Le système calcule ensuite le coefficient de poussière via le rapport entre le composant rouge et la lumière totale :

```
float redRatio = (c > 0) ? ((float)r / c) : 0.0;
```

Lorsque ce rapport dépasse la valeur de référence, indiquant une réflexion accrue due à la présence d'impuretés, le système conclut que le panneau est sale et nécessite un nettoyage.

5.4 Transmission et supervision

Toutes les données collectées (luminosité, courant, température, humidité et poussière) sont transmises via Wi-Fi par l'ESP8266 vers une application mobile Blynk, permettant :

- La visualisation en temps réel
- Le suivi de l'état du panneau
- La prise de décision pour l'entretien ou le nettoyage si nécessaire

6 Application mobile (Supervision)

Pour surveiller et contrôler le système photovoltaïque à distance, nous utilisons l'application mobile Blynk. Elle permet d'afficher toutes les données des capteurs en temps réel sur le smartphone.

L'utilisateur peut consulter facilement :

- Le courant du panneau solaire
- La température, l'humidité et la présence de poussière
- Recevoir des alertes si certaines valeurs dépassent les limites

Les données sont transmises via Wi-Fi par l'ESP8266. Ainsi, Blynk permet une supervision simple et efficace du système, même à distance.

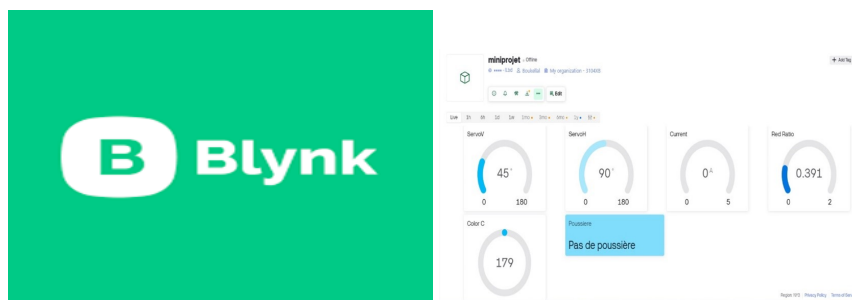


Fig. 16 : Interface de l'application Blynk

7 Résultats obtenus

7.1 Comportement du panneau face à la lumière

Le panneau solaire suit correctement la lumière grâce aux capteurs LDR et aux servomoteurs. Lorsqu'on change l'orientation de la source lumineuse, le panneau s'ajuste automatiquement pour rester perpendiculaire aux rayons lumineux. Cela montre que le système de suivi fonctionne efficacement.

7.2 Précision du suivi solaire

Le suivi solaire est précis grâce à la comparaison continue des valeurs des capteurs LDR. Le panneau peut ajuster son angle avec une erreur minimale, ce qui optimise l'absorption de la lumière et améliore la production d'énergie.

7.3 Valeurs mesurées

Les différents capteurs ont permis de mesurer :

- Le courant du panneau
- Température et humidité de l'environnement
- Présence de poussière sur le panneau via le capteur de couleur

Les données montrent le bon fonctionnement des capteurs et la cohérence des mesures avec l'environnement.

7.4 Captures d'écran de l'application

Les données mesurées sont affichées en temps réel sur l'application Blynk, permettant de suivre l'état du système sur smartphone. Des captures d'écran peuvent illustrer :

- La variation du courant
- Les conditions environnementales
- L'alerte de présence de poussière

8 Difficultés rencontrées et solutions

8.1 Problèmes techniques

- Les servomoteurs avaient parfois des mouvements irréguliers
- Les valeurs des capteurs LDR pouvaient fluctuer rapidement selon l'éclairage ambiant
- La connexion Wi-Fi de l'ESP8266 était instable par moments
- Le capteur de poussière nécessitait un étalonnage précis pour détecter correctement la saleté

8.2 Solutions apportées

- Ajustement des angles et vitesses des servomoteurs pour un mouvement plus stable
- Filtrage des valeurs LDR dans le code pour éviter les lectures erronées
- Vérification et optimisation de la connexion Wi-Fi et redémarrage automatique en cas de perte de signal
- Calibration du capteur de couleur pour améliorer la précision de détection de poussière

8.3 Améliorations possibles

- Ajouter un algorithme de suivi plus sophistiqué pour réduire encore l'erreur de position
- Installer un capteur de luminosité plus précis pour de meilleures mesures
- Améliorer l'application Blynk pour afficher des graphiques et historiques des données
- Ajouter un système de nettoyage automatique du panneau pour maintenir l'efficacité
- Intégration d'une base de données intelligente basée sur l'intelligence artificielle pour l'analyse et l'exploitation des données collectées par le système

9 Conclusion

Ce mini-projet montre l'importance des systèmes embarqués intelligents pour améliorer l'exploitation de l'énergie solaire et augmenter l'efficacité des panneaux photovoltaïques. Il illustre comment le suivi automatique du soleil et la surveillance des données électriques et environnementales peuvent optimiser la production d'énergie renouvelable.

L'application de ce système ne se limite pas à un cadre pédagogique ; il peut être utilisé dans les fermes, les maisons intelligentes, les petites centrales solaires et même dans certains projets industriels. Le projet met également en évidence le rôle essentiel de la technologie moderne, des capteurs et des microcontrôleurs dans le développement de solutions intelligentes et efficaces pour l'énergie et l'environnement.

En résumé, ce projet constitue une étape importante vers l'intégration de l'énergie renouvelable avec les systèmes intelligents au bénéfice de l'homme et de l'environnement.

Références

- Cours et supports pédagogiques du module Systèmes Embarqués
- Documentation technique de la carte Arduino UNO
- Documentation technique du microcontrôleur ESP8266 (Espressif Systems)
- Documentation technique des capteurs LDR
- Documentation technique du capteur de courant ACS712
- Documentation technique du capteur de couleur TCS3472
- Documentation technique du capteur DHT11
- Documentation technique du servo-moteur S3003
- Documentation technique du panneau photovoltaïque (80×40)
- Ressources pédagogiques sur les systèmes photovoltaïques et le suivi solaire
- Documentation officielle de l'application Blynk (plateforme IoT)
- Tutoriels et articles techniques disponibles sur des plateformes éducatives en ligne