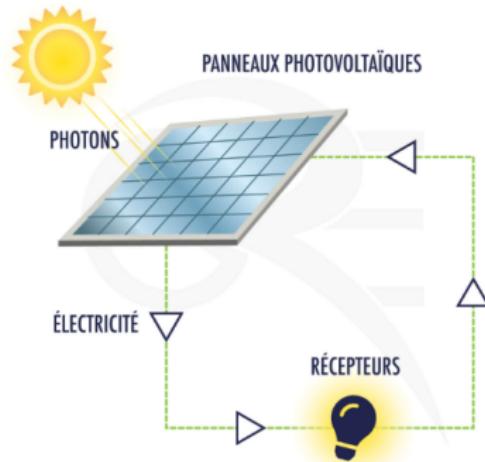


# Du soleil à l'électricité : Le rôle des panneaux solaires dans la transition énergétique

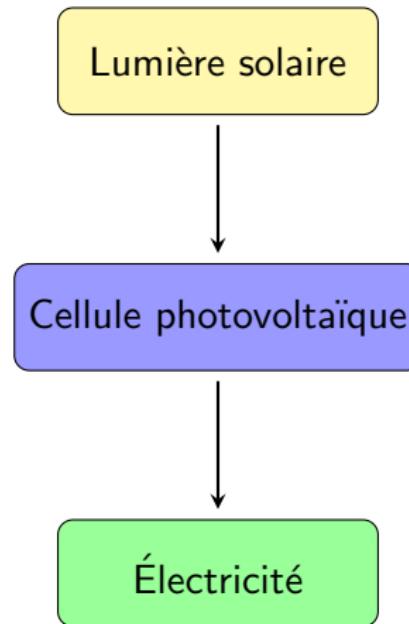
ASHRAF ISMAILI ALAOUI

TIPE 2025

# Introduction



# Du photon à l'électricité : Le processus photovoltaïque



# Lumière solaire

## rayonnement solaire

Le soleil émet une énergie considérable sous forme de rayonnement électromagnétique. Cette énergie atteint la Terre avec une puissance d'environ  $1\ 367\ W/m^2$  au sommet de l'atmosphère (constante solaire). Au niveau du sol, cette valeur est réduite à environ  $1\ 000\ W/m^2$  dans des conditions optimales en raison de l'absorption et de la diffusion atmosphériques.

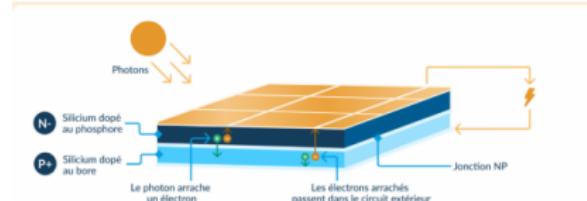


# Effet photovoltaïque

## Principe de l'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque convertit directement la lumière solaire en électricité. Lorsque des photons frappent un matériau semi-conducteur (généralement du silicium), ils libèrent des électrons, créant un courant électrique.

- Absorption de photons
- Libération d'électrons
- Création de courant
- Production d'électricité



# Problématique

**Comment maximiser la puissance électrique  
d'une cellule photovoltaïque  
pour améliorer son efficacité, réduire les coûts  
et minimiser son impact environnemental ?**

# Sommaire

- ① Approche théorique**
- ② Étude expérimentale**
- ③ Solution adoptée : MPPT**
- ④ Annexe – Attention**

# Composantes du Modèle Électrique

## Schéma Équivalent

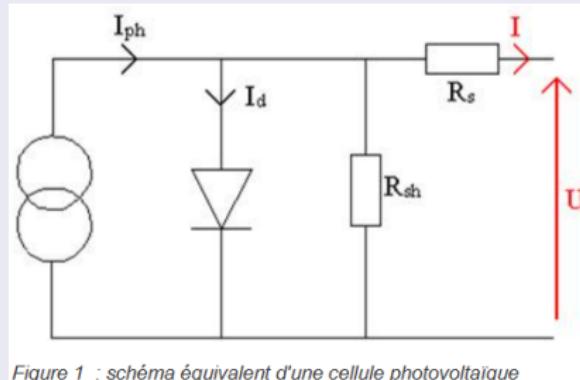
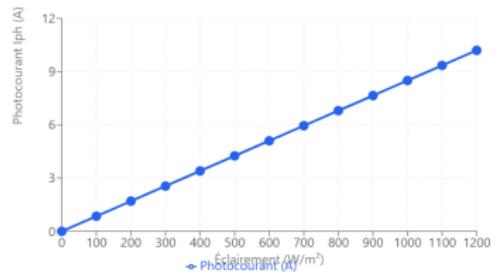


Schéma équivalent d'une cellule PV

# 1. Source de Courant (Iph)

## Caractéristiques

- Représente le courant photogénéré
- **Dépendance :**
  - $\propto$  intensité lumineuse
  - $\downarrow$  légèrement avec  $T \uparrow$
- Valeur typique :
  - Panneau : quelques A
  - Cellule : quelques mA



Effet de l'éclairement sur Iph

## 2. Diode ( $I_d$ )

### Équation Fondamentale

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{U+I \cdot R_s}{n \cdot V_t}} - 1 \right)$$

### Paramètres Clés

- $I_0$  : Courant de saturation inverse
- $n$  : Facteur d'idéalité (1-2)
- $V_t = \frac{kT}{q} \approx 26mV$  à 25

### Effet Physique

Modélise les pertes par recombinaison électron-trou

### 3. Résistance Série (Rs)

#### Origines

- Résistance des contacts métalliques
- Résistivité du matériau

#### Impact

- ↓ tension en circuit ouvert
- ↓ rendement de conversion

- Valeur typique : 0.1 à 1

## 4. Tension de Sortie ( $U$ )

### Dépendances

- Charge connectée ( $R_{load}$ )
- Éclairement et température

### Cas Extrêmes

- Circuit ouvert ( $I = 0$ ) :  $U = U_{oc}$
- Court-circuit ( $U = 0$ ) :  $I \approx I_{ph}$  (si  $R_s$  petit)

# Résumé des Effets

Composant	Effet principal	Impact sur rendement
$I_{ph}$	↑ courant	Amélioration
$I_d$	Pertes par recombinaison	Réduction
$R_s$	Pertes ohmiques	Réduction
$R_{sh}$	Courants de fuite	Réduction

Table – Influence des composants sur les performances

## Équation Complète

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{U + I \cdot R_s}{n \cdot V_t}} - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

# Étude Expérimentale

## Résultats des expérimentations

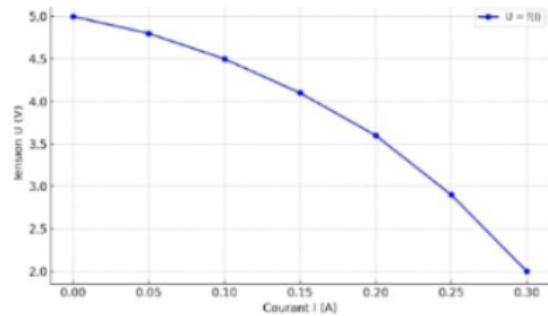


figure : résultat de l'expérience  
courbe  $U=f(i)$

# 1. Le Point de Puissance Maximale (MPP)

## Définition

Point où la puissance de sortie  $P = U \times I$  est maximale

- Situé au "creux" de la courbe I-V
- Changements avec :
  - Éclairement
  - Température

# Autres Méthodes

## b) Caractérisation Expérimentale

- Mesure complète I-V
- Identification du maximum

## c) Calcul Théorique

Pour une cellule idéale :

$$V_{MPP} \approx 0.8 \times V_{oc}$$

$$I_{MPP} \approx 0.9 \times I_{sc}$$

### 3. Facteurs Influyant le MPP

#### Ensoleillement

- $\uparrow$  Éclairement  $\Rightarrow \uparrow I_{MPP}$
- Impact majeur sur  $I_{ph}$

#### Température

- $\uparrow T \Rightarrow \downarrow V_{MPP}$
- Coefficient :  
 $\approx -0.3\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 4. Exemple Numérique

### Cas pratique

- $V_{oc} = 0.6$
- $I_{sc} = 3$

### Calcul du MPP

$$V_{MPP} = 0.8 \times 0.6 = 0.48$$

$$I_{MPP} = 0.9 \times 3 = 2.7$$

$$P_{max} = 0.48 \times 2.7 = 1.3$$

### Attention

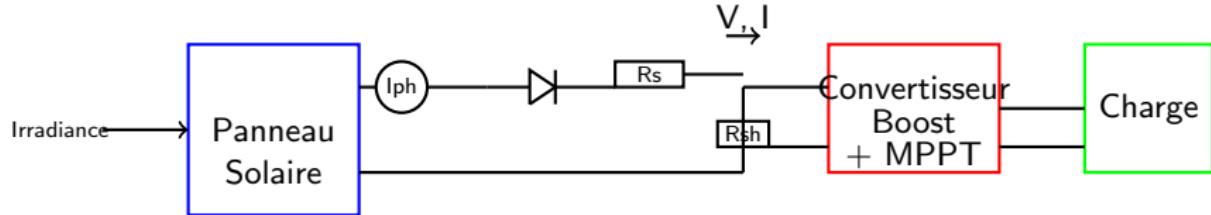
Ces valeurs sont indicatives - une modélisation précise nécessite de considérer  $R_s$  et  $R_{sh}$

## Réalisation du point de puissance maximale

Pour réaliser ce MPP, on utilise un tracker MPPT qui optimise automatiquement le fonctionnement du système photovoltaïque.

### Principe du tracker MPPT

Le tracker MPPT recherche en permanence le point de fonctionnement optimal pour extraire la puissance maximale du panneau solaire.



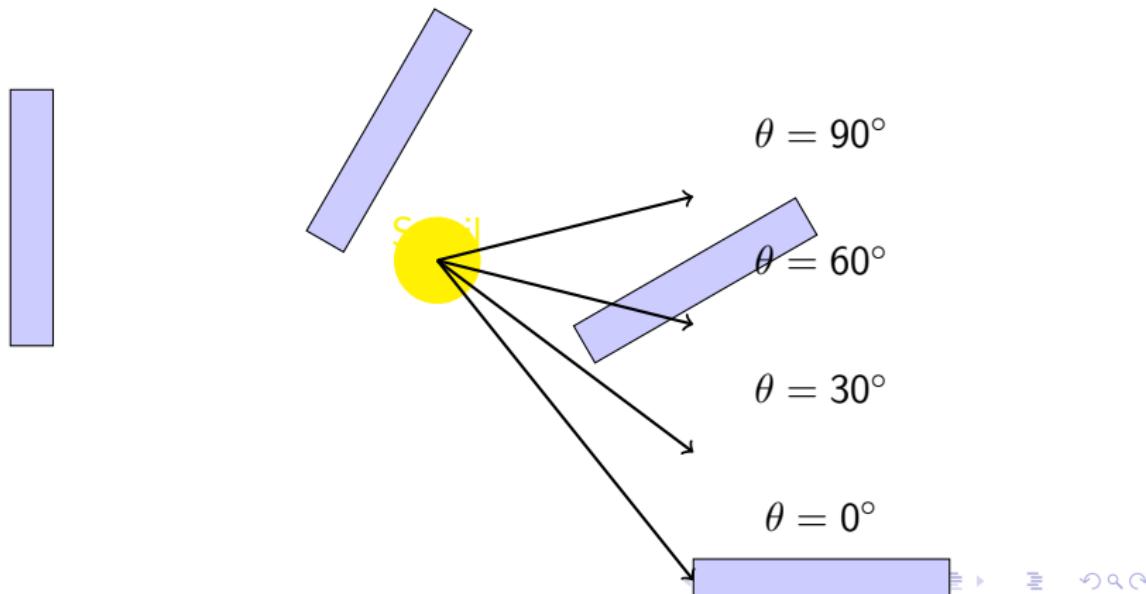
### Système de contrôle

- **Convertisseur Boost :**  
Élévation de tension
- **MPPT :** Algorithme d'optimisation
- **Capteurs :** Mesure V et I
- **Charge :** Batterie ou réseau

# Inclinaison Optimale des Panneaux Solaires

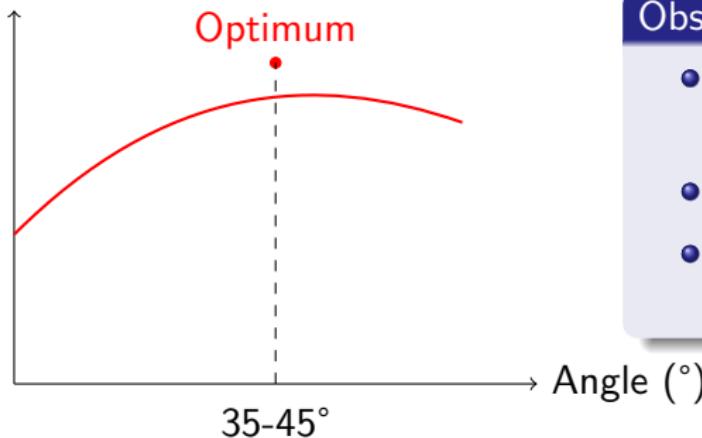
## Facteur clé

L'angle d'inclinaison affecte directement l'énergie reçue par le panneau



# Courbe de Puissance en Fonction de l'Angle

Puissance (W)



## Observations

- Maximum à 35-45° (hémisphère nord)
- Chute rapide > 60°
- Perte de 10-15% à 0° (horizontal)

## Recommandation

Adapter l'angle à la latitude du site  $\pm 15^\circ$  selon la saison

# Variation Saisonnière

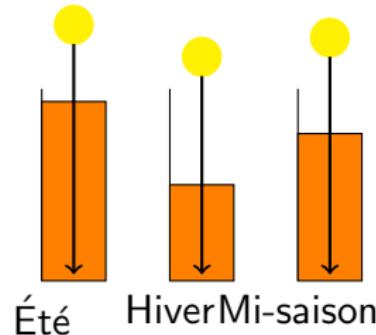


Figure – Production relative selon la saison (angle fixe)

Solution

Systèmes d'ajustement saisonnier ou trackers

# Impact Thermique sur les PV

## Relation clé

- Puissance  $\downarrow$  quand température  $\uparrow$
- Coefficient typique : -0.4% à -0.5%/°C

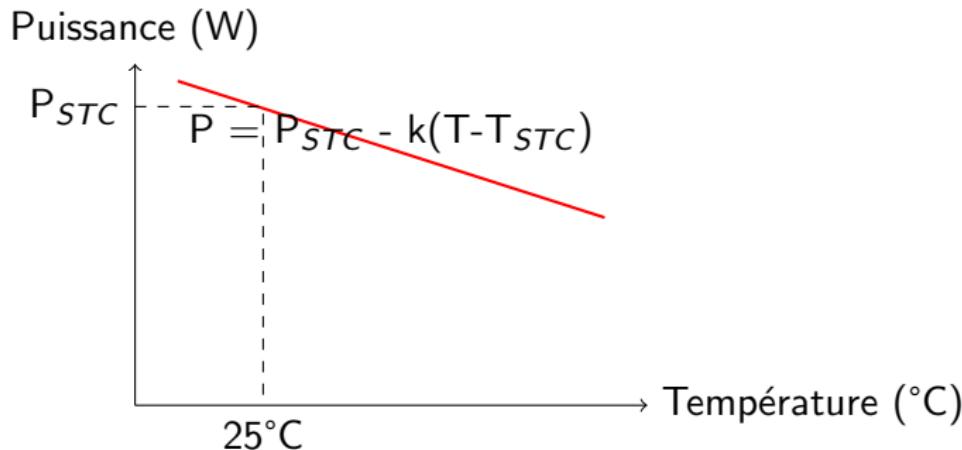


Figure – Dégradation de puissance avec la température

# Comparaison Courbes I-V

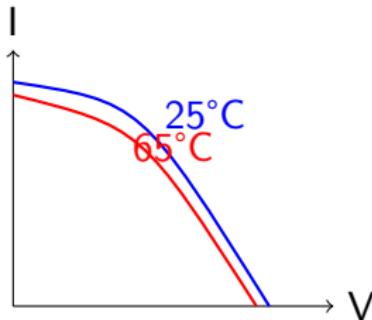


Figure – Caractéristique I-V

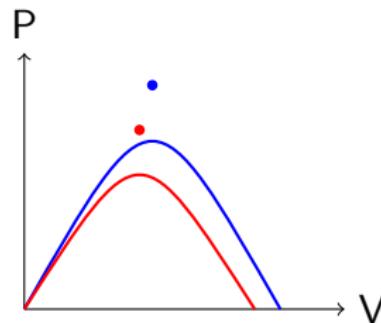


Figure – Caractéristique P-V

## Observation

- Tension  $\downarrow$  significativement
- Courant  $\downarrow$  légèrement
- MPP se décale vers la gauche

# Solutions de Refroidissement

- Ventilation naturelle ou forcée
- Refroidissement par eau
- Panneaux bifaciaux
- Matériaux à faible coefficient thermique
- Montage surélevé pour dissiper la chaleur

## Efficacité

Gain typique de 5 à 15 %  
selon la méthode utilisée

Panneau  
Refroidissement

# Conclusion : Optimisation des Panneaux Solaires

## Facteurs clés :

### Température :

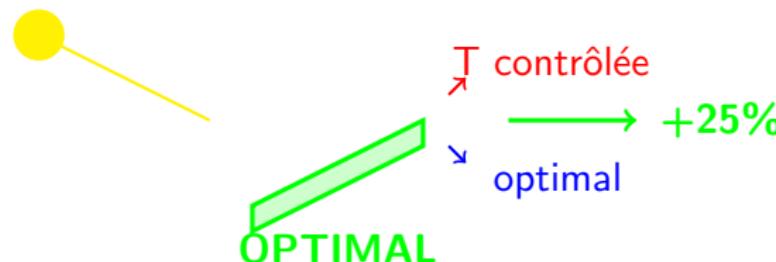
- Perte : 0.4%/°C
- Refroidissement nécessaire

### Inclinaison :

- Optimale : Latitude ± 15°
- Maroc : ~30°

### Performance combinée :

$$P = P_{STC} \cdot \cos(\theta) \cdot [1 - \gamma(T - 25)]$$



Gain potentiel : +15 à 25%

## Annexe : Code Python - Caractéristique I-V

```
temp.py x

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3
4 # Données de la cellule PV
5 V = np.array([0.00, 0.05, 0.10, 0.15,
6                 0.20, 0.25, 0.30])
7 I = np.array([5.0, 4.8, 4.5, 4.0,
8                 3.5, 2.5, 0.0])
9
10 # Création du graphique
11 plt.figure(figsize=(8,6))
12 plt.plot(V, I, 'b-o', linewidth=2,
13           markersize=6)
14 plt.xlabel('Tension (V)')
15 plt.ylabel('Courant (A)')
16 plt.title('Caractéristique I-V')
17 plt.grid(True, alpha=0.3)
18 plt.xlim(0, 0.35)
19 plt.ylim(0, 5.5)
20
21 # Affichage
22 plt.show()
```