



Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes

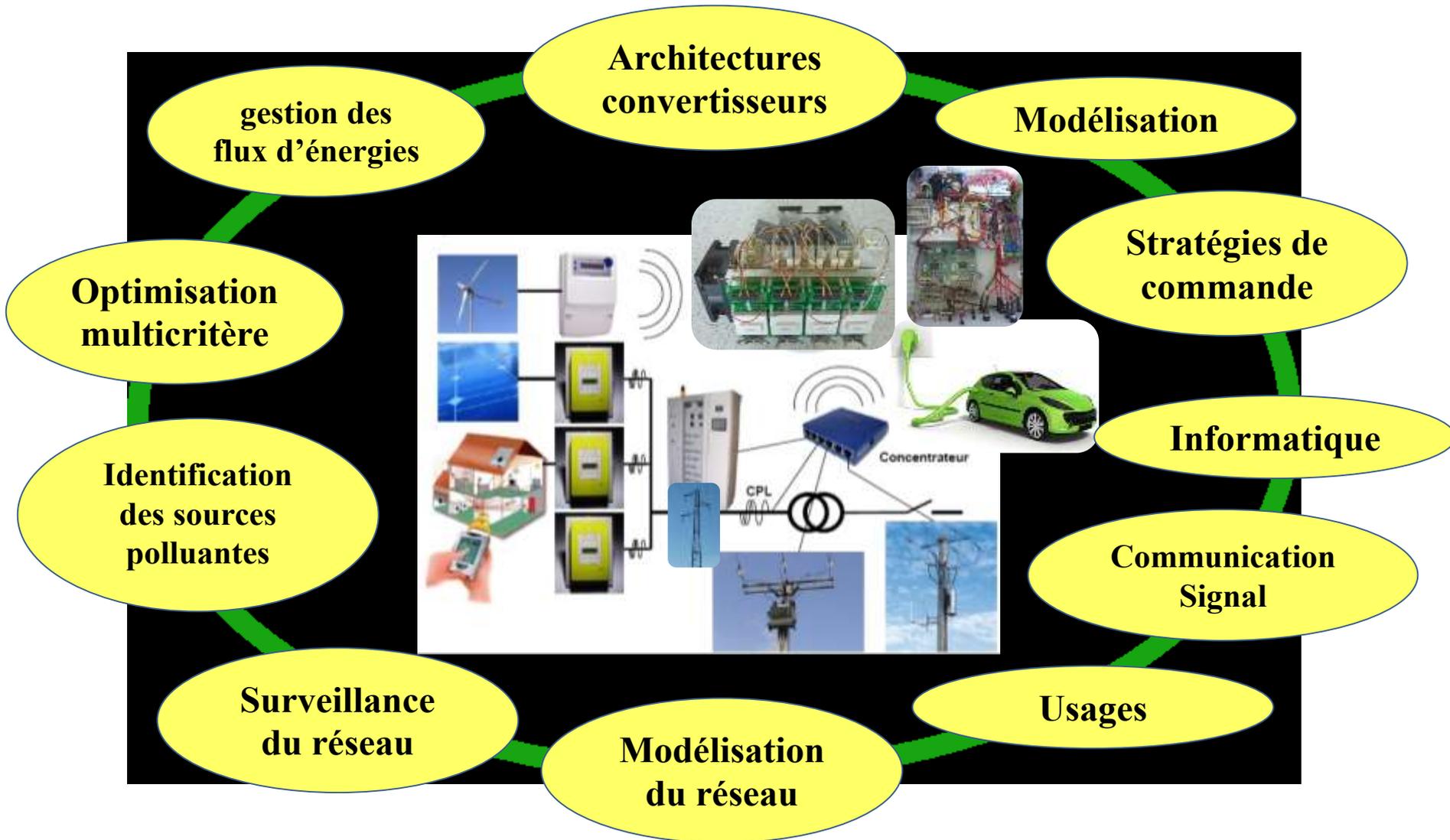


Optimisation de l'extraction de la puissance électrique sur les systèmes solaires photovoltaïques

Jean-Paul GAUBERT, Professeur des Universités

*Journée Énergie Solaire et Smart Grid - UPJV Amiens
Octobre 2018*

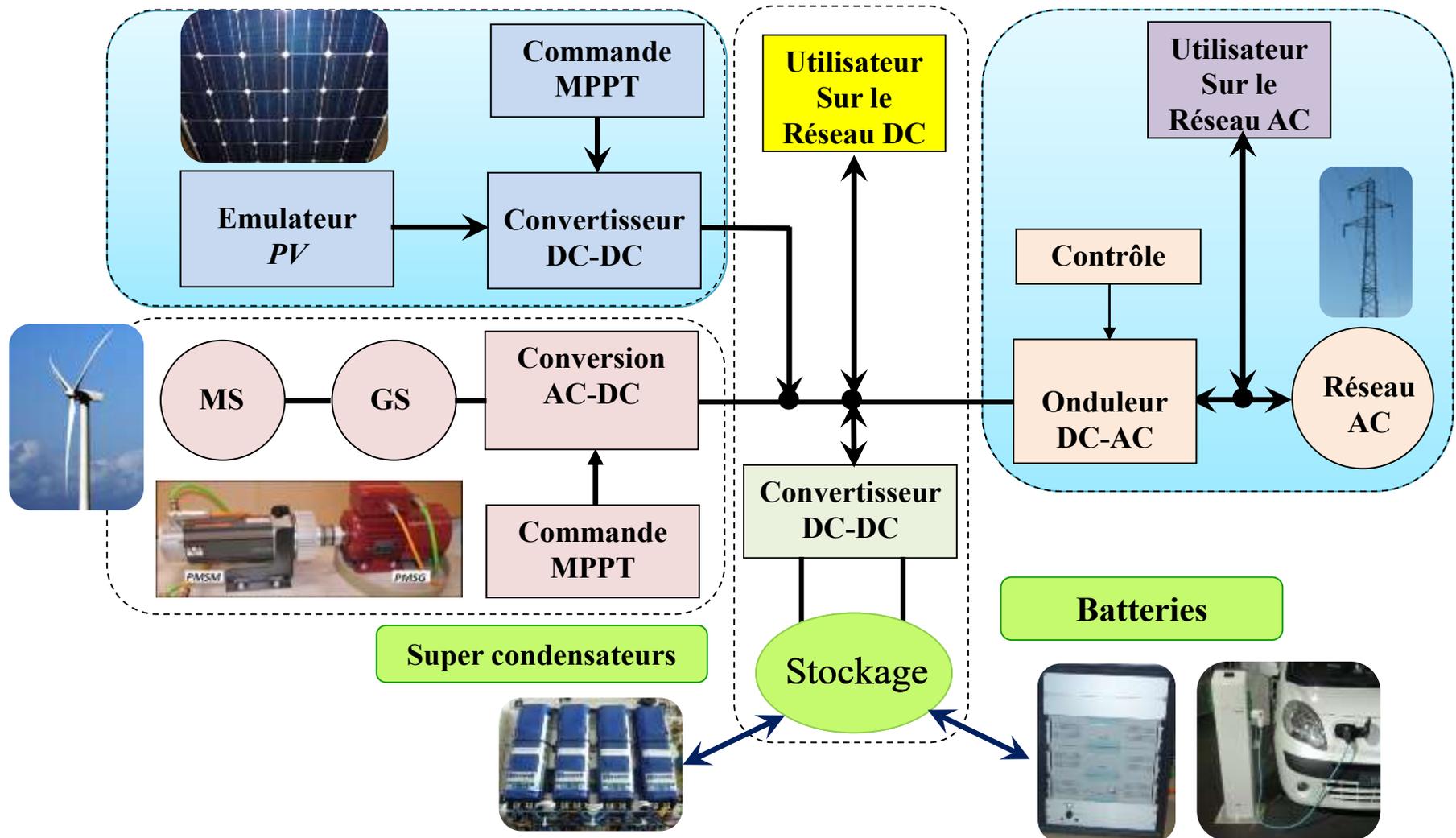
Groupe de travail du LIAS : Gestion des Énergies Renouvelables et Réseaux Intelligents - GEN2RI



Optimisation de l'extraction de la puissance électrique sur les systèmes solaires photovoltaïques

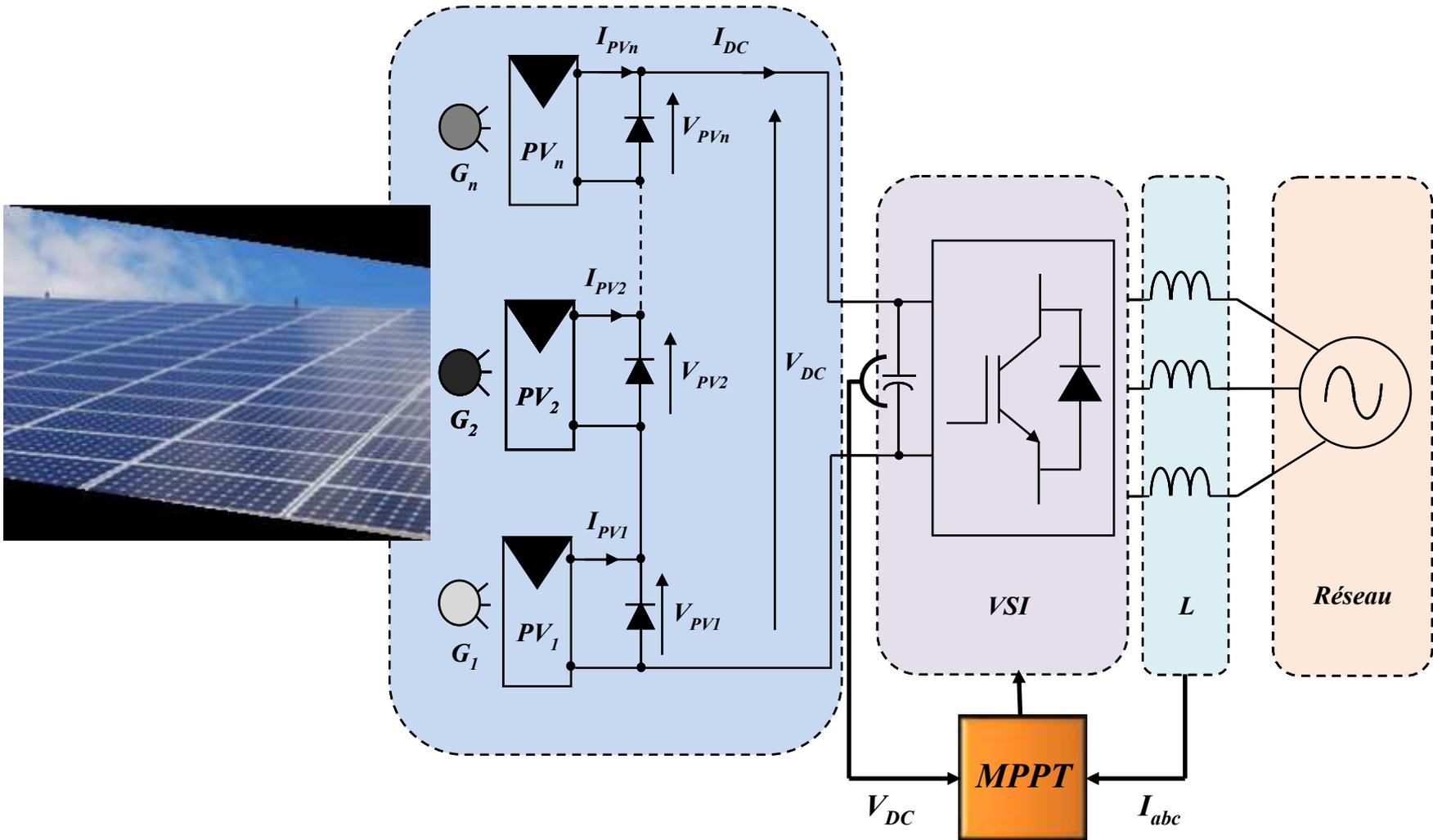
- **Architecture globale d'intégration des énergies renouvelables**
- **Chaîne de conversion pour un générateur photovoltaïque (PV)**
- **Caractéristiques d'un générateur PV**
- **Générateur PV avec une irradiation réelle**
- **Algorithmes de recherche du point de puissance maximale (PPM)**
- **Optimisation de la capture de l'énergie électrique sous ombrage partiel**
- **Conclusion et perspectives**

Architecture globale d'intégration des énergies renouvelables



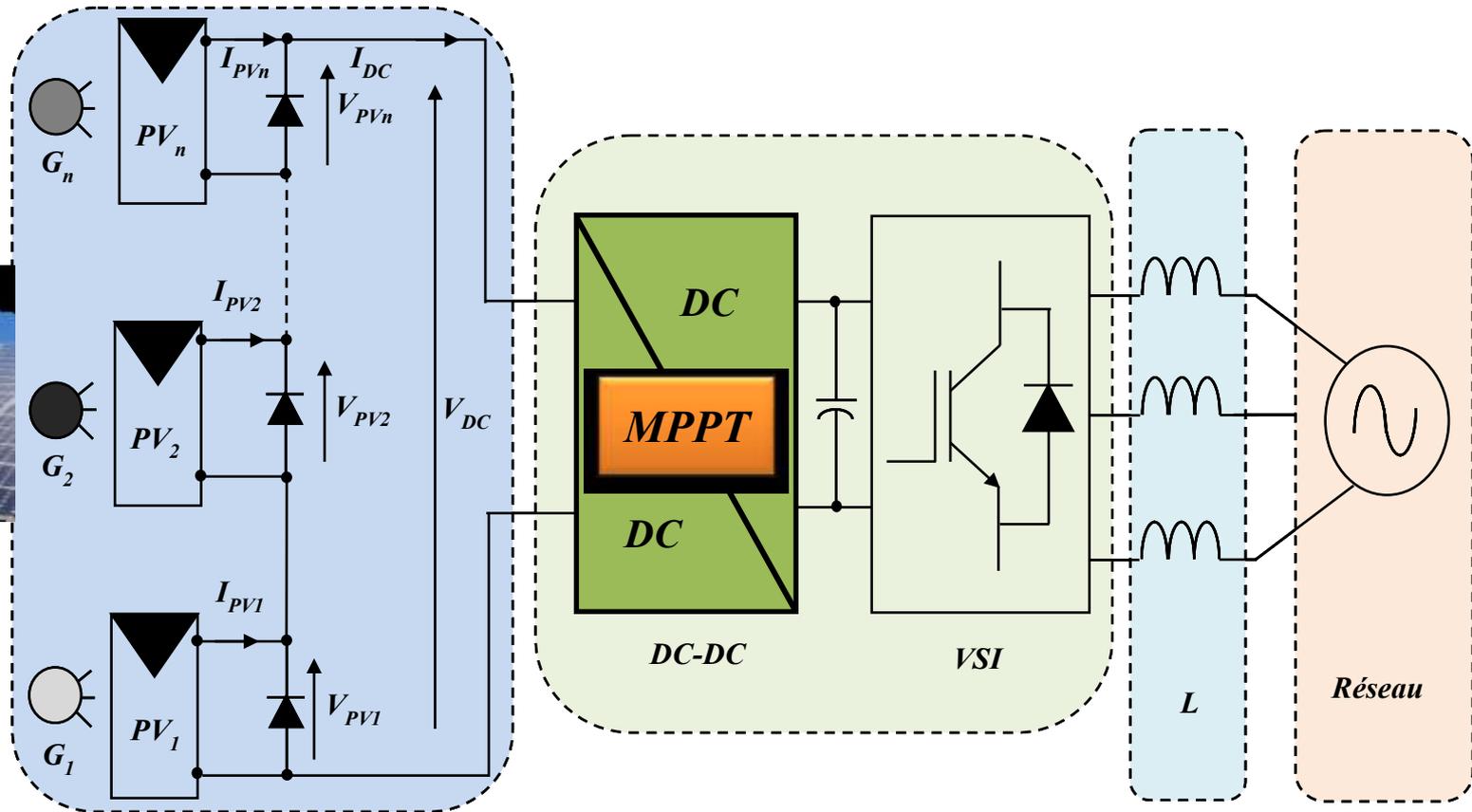
Chaîne de conversion pour extraire l'énergie électrique d'un générateur photovoltaïque

MPPT globale simple étage avec onduleur par chaîne



Chaîne de conversion pour extraire l'énergie électrique d'un générateur photovoltaïque

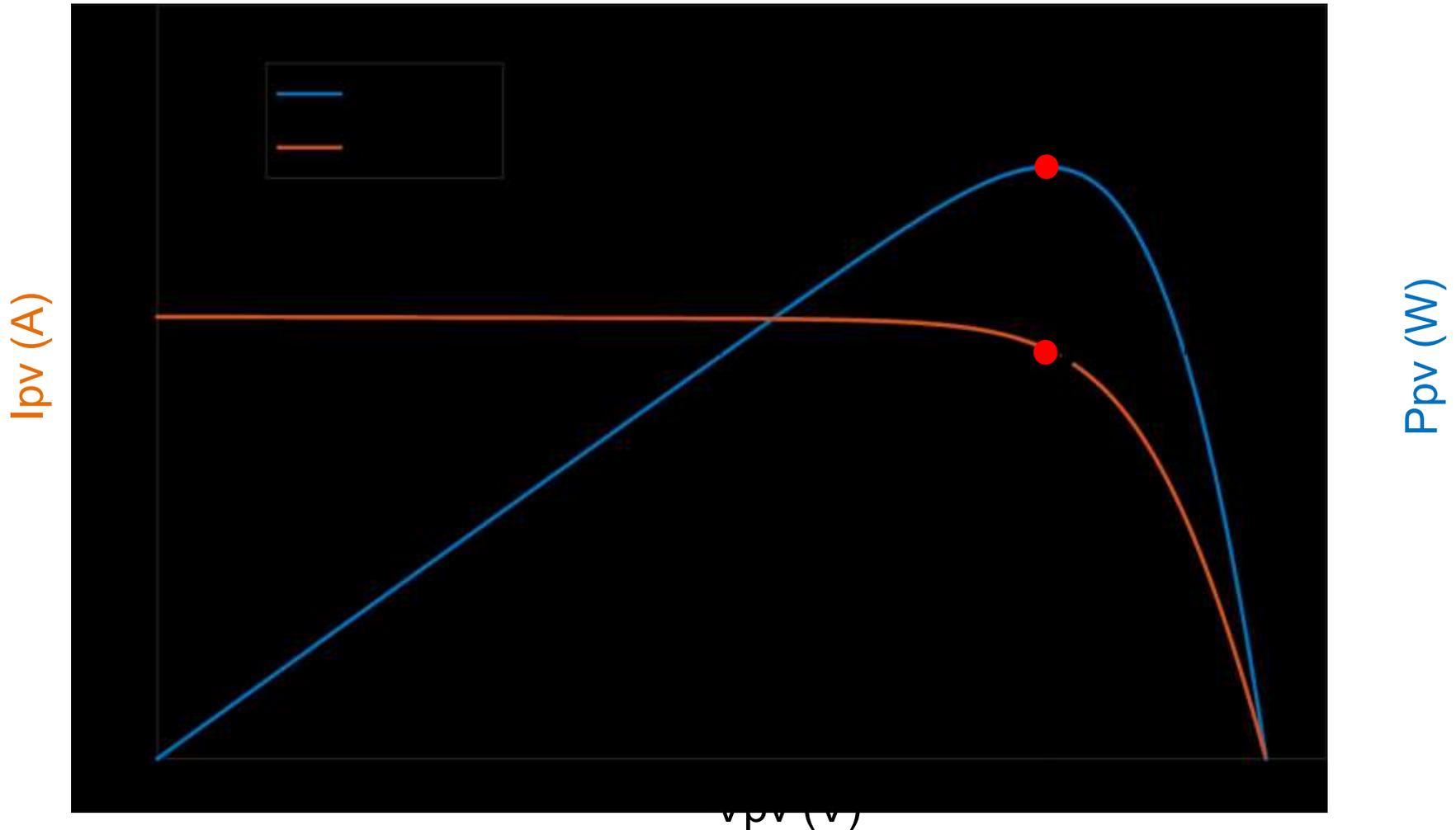
Schéma de principe à deux étages d'une MPPT globale avec onduleur par chaîne



Caractéristiques d'un générateur PV

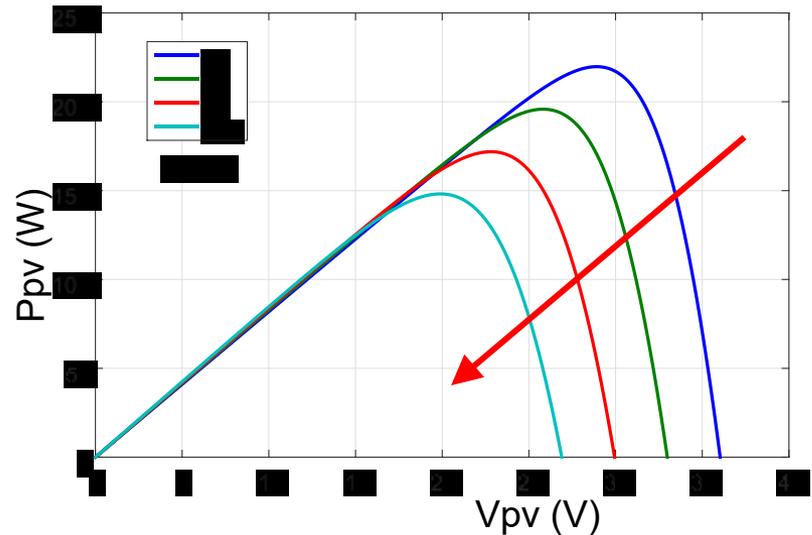
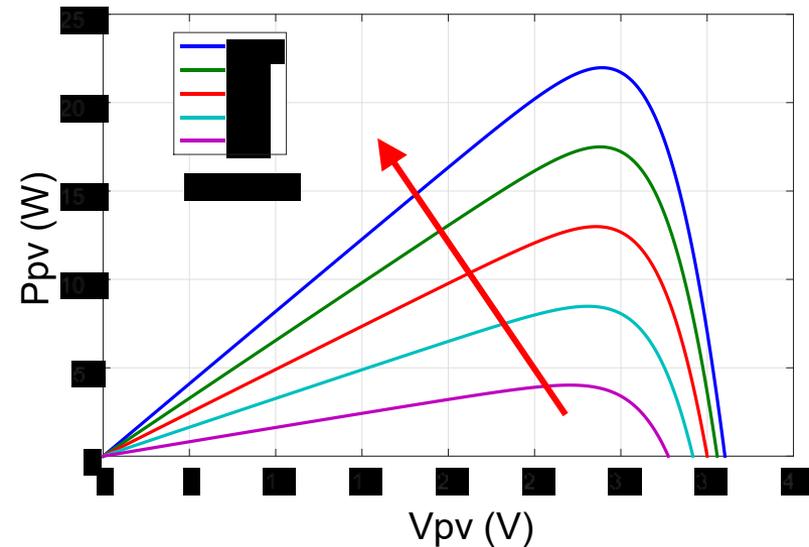
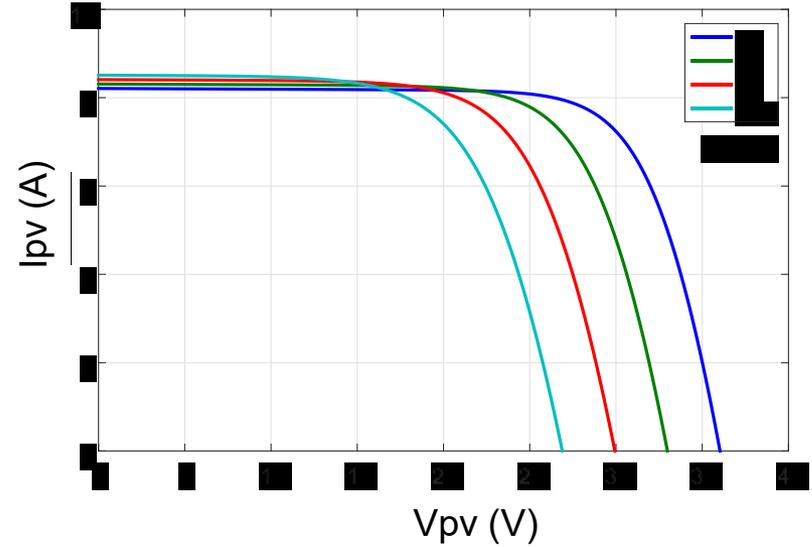
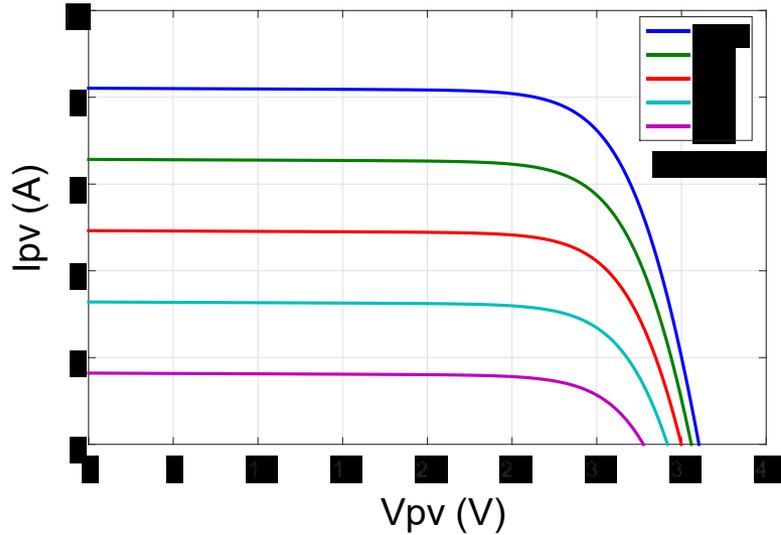
Principaux paramètres d'un module PV

Point de Puissance Maximale (MPP)



Caractéristiques d'un générateur PV

Influence de l'irradiation et de la température sur un générateur PV

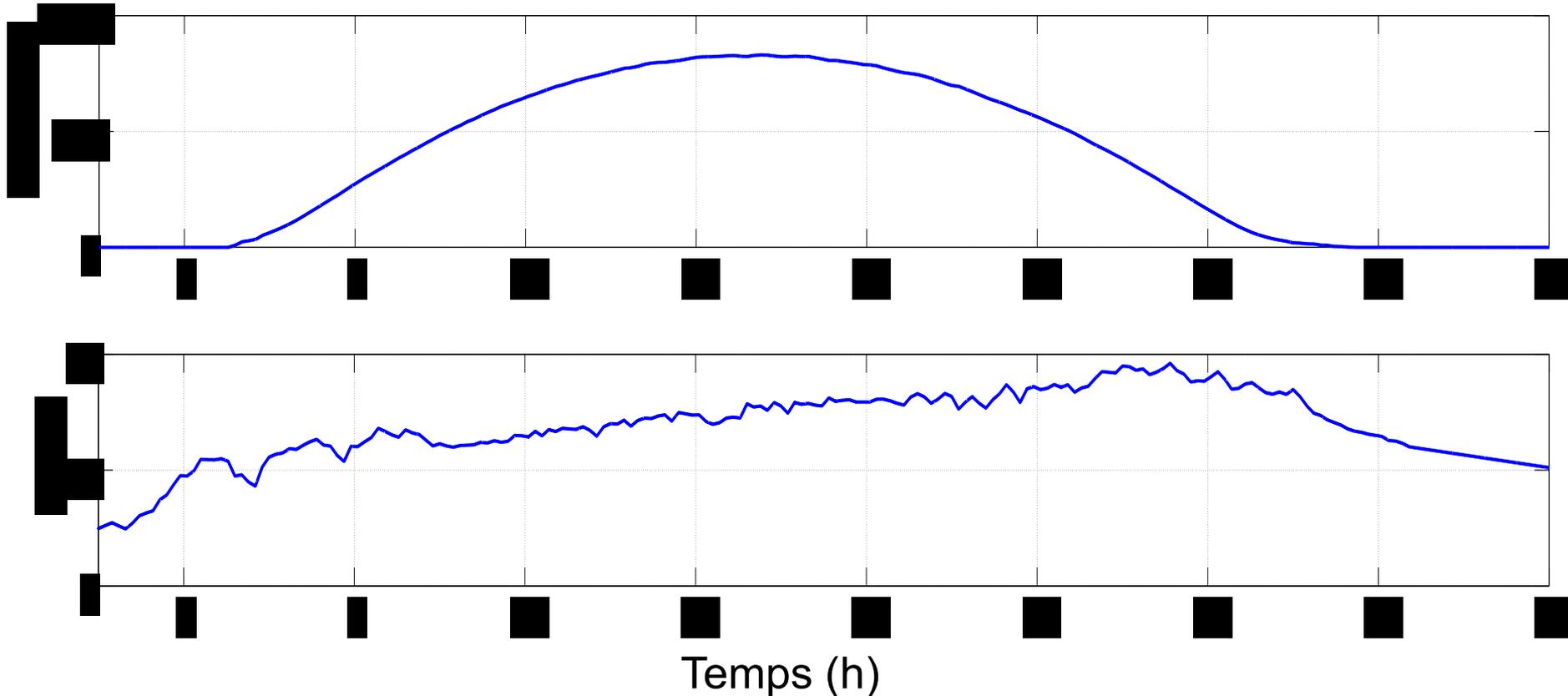


Générateur PV avec un éclairement réel

Variation de la puissance d'un générateur PV avec un éclairement réel



Variation linéaire et homogène (journée ensoleillée)

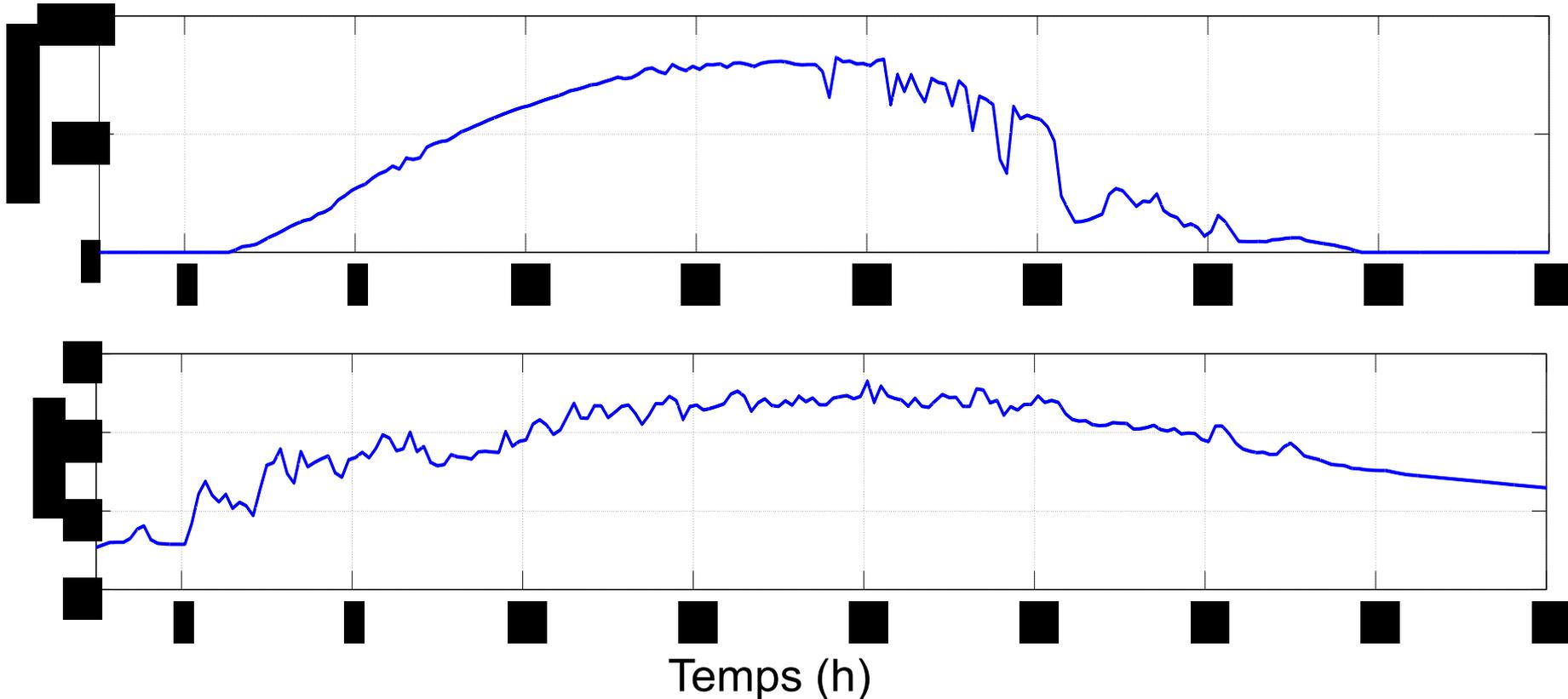


Générateur PV avec un éclairement réel

Variation de la puissance d'un générateur PV avec un éclairement réel



Variation linéaire et non homogène (journée ensoleillée mais nuageuse)

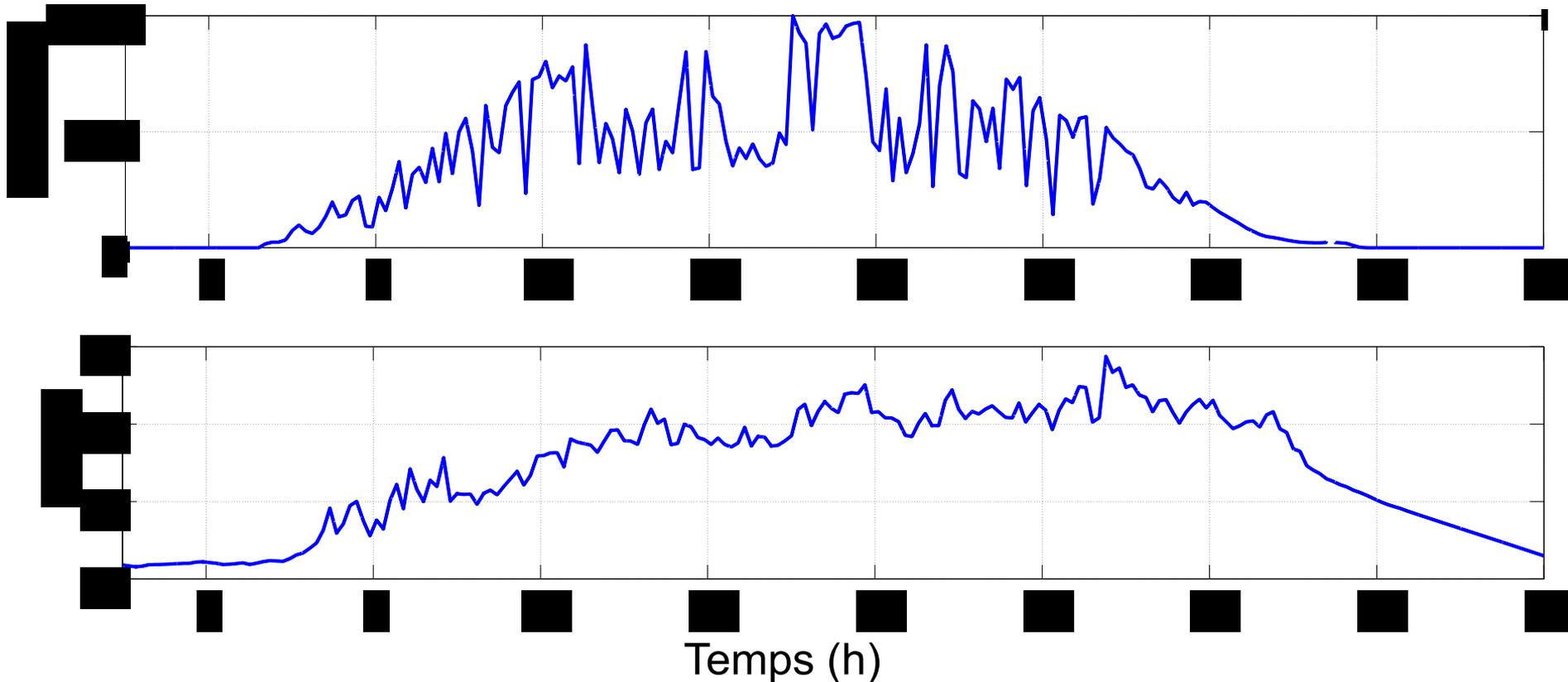


Générateur PV avec un éclairement réel

Variation de la puissance d'un générateur PV avec un éclairement réel



Variation linéaire et non homogène (journée très nuageuse)

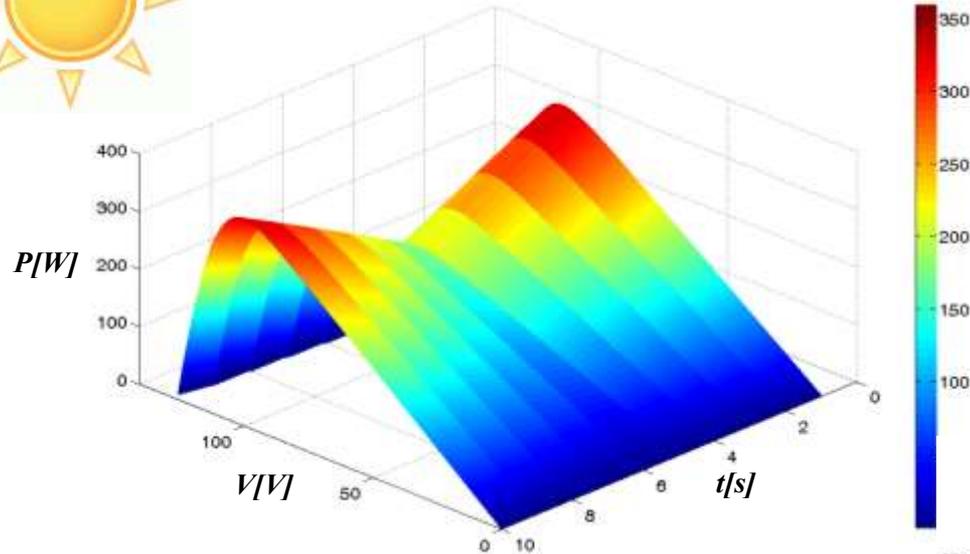


Générateur PV avec un éclairement réel

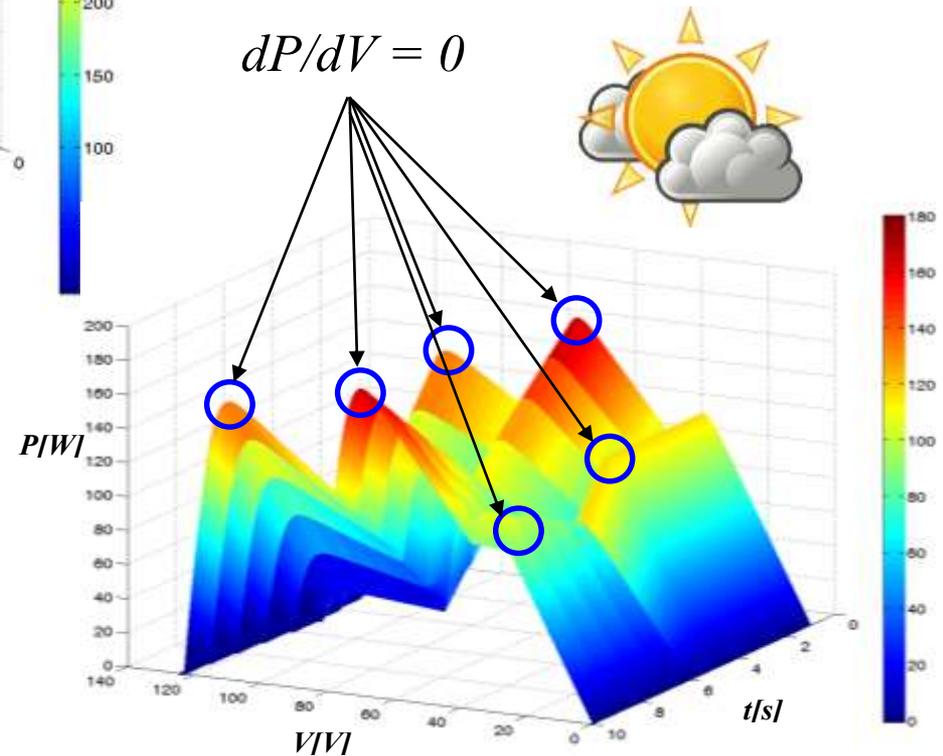
Variation de la puissance d'un générateur PV avec un éclairement réel



Variation linéaire et homogène

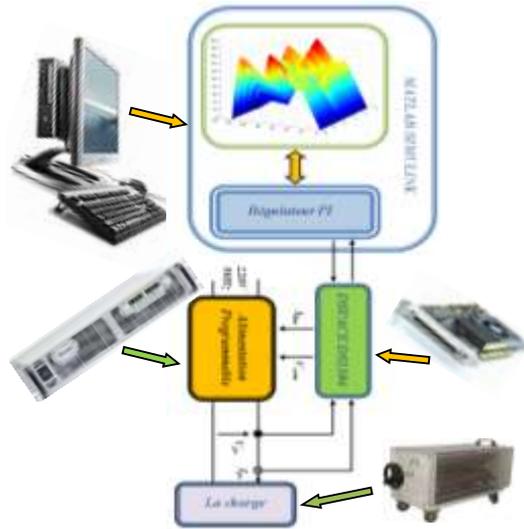


Variation linéaire et non homogène



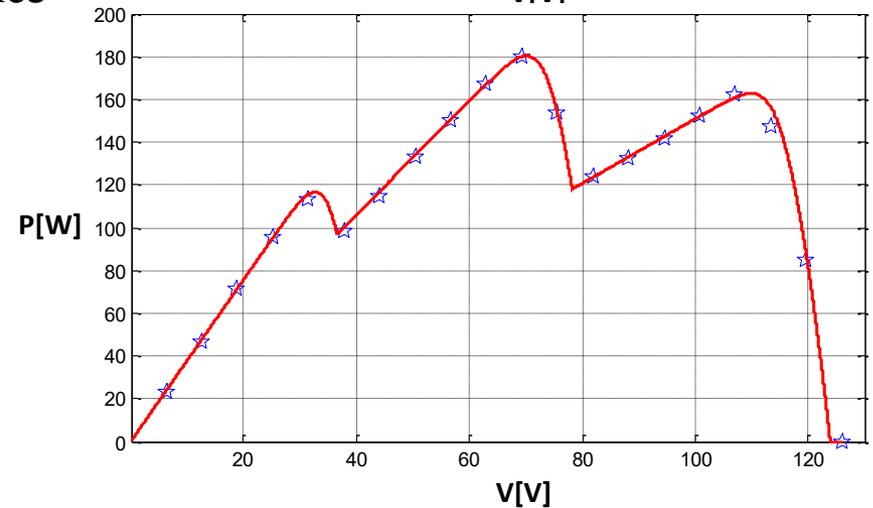
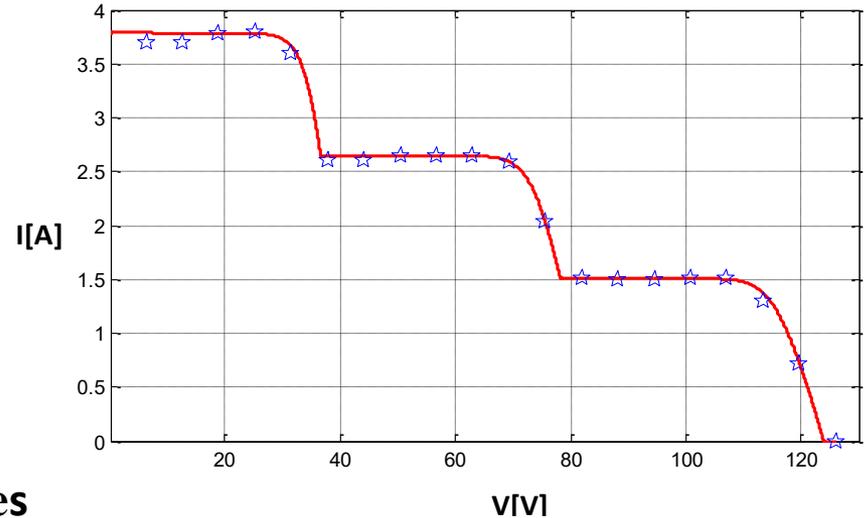
Émulateur de panneaux solaires PV

Émulateur de panneaux solaires pilotables

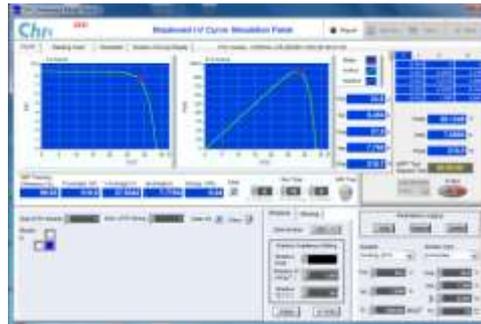


Caractéristiques avec une irradiation non homogène et constante

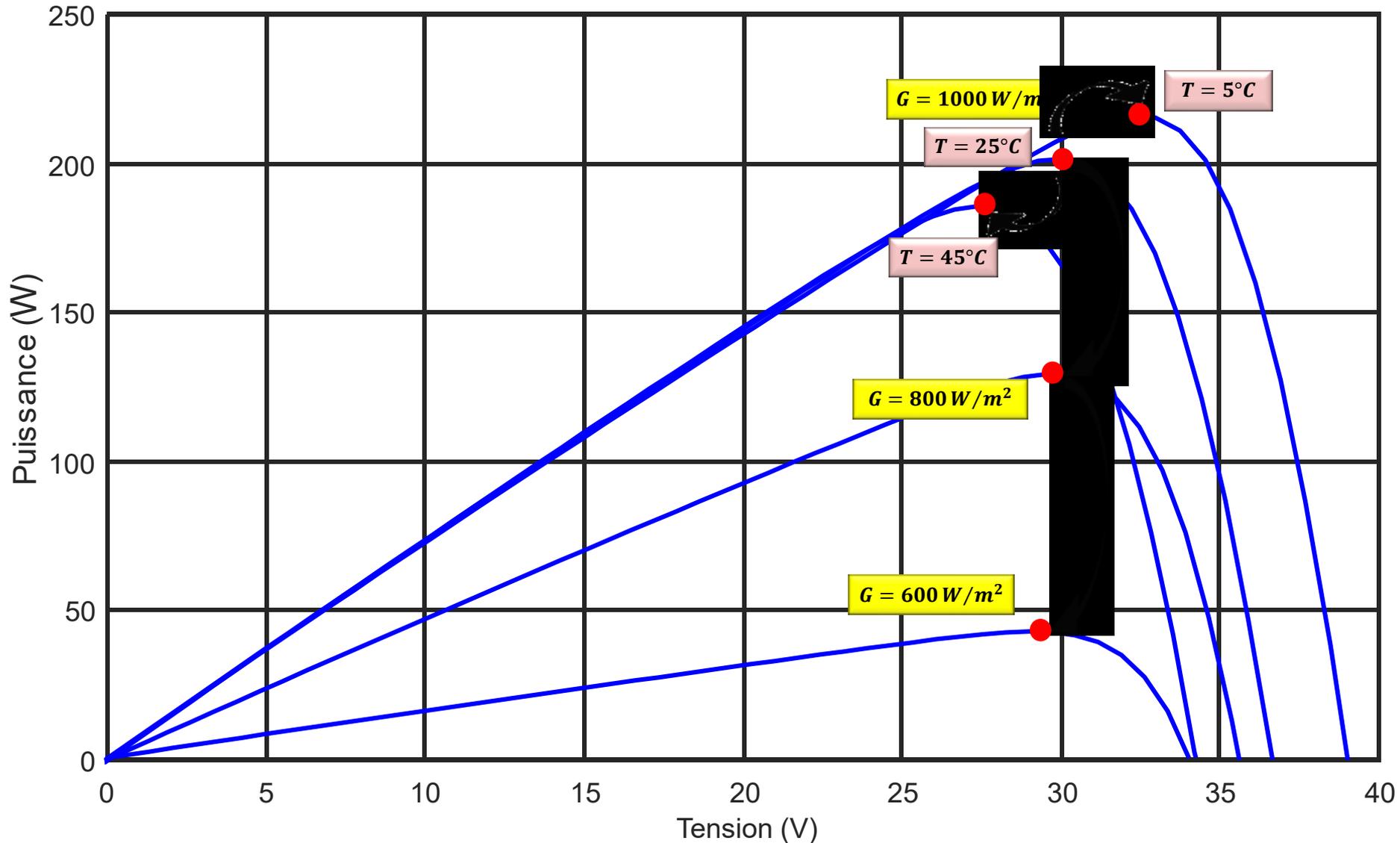
($G_1 = 1000 \text{ W/m}^2$, $G_2 = 700 \text{ W/m}^2$ et $G_3 = 400 \text{ W/m}^2$)



Émulateur de panneaux solaires programmables



Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

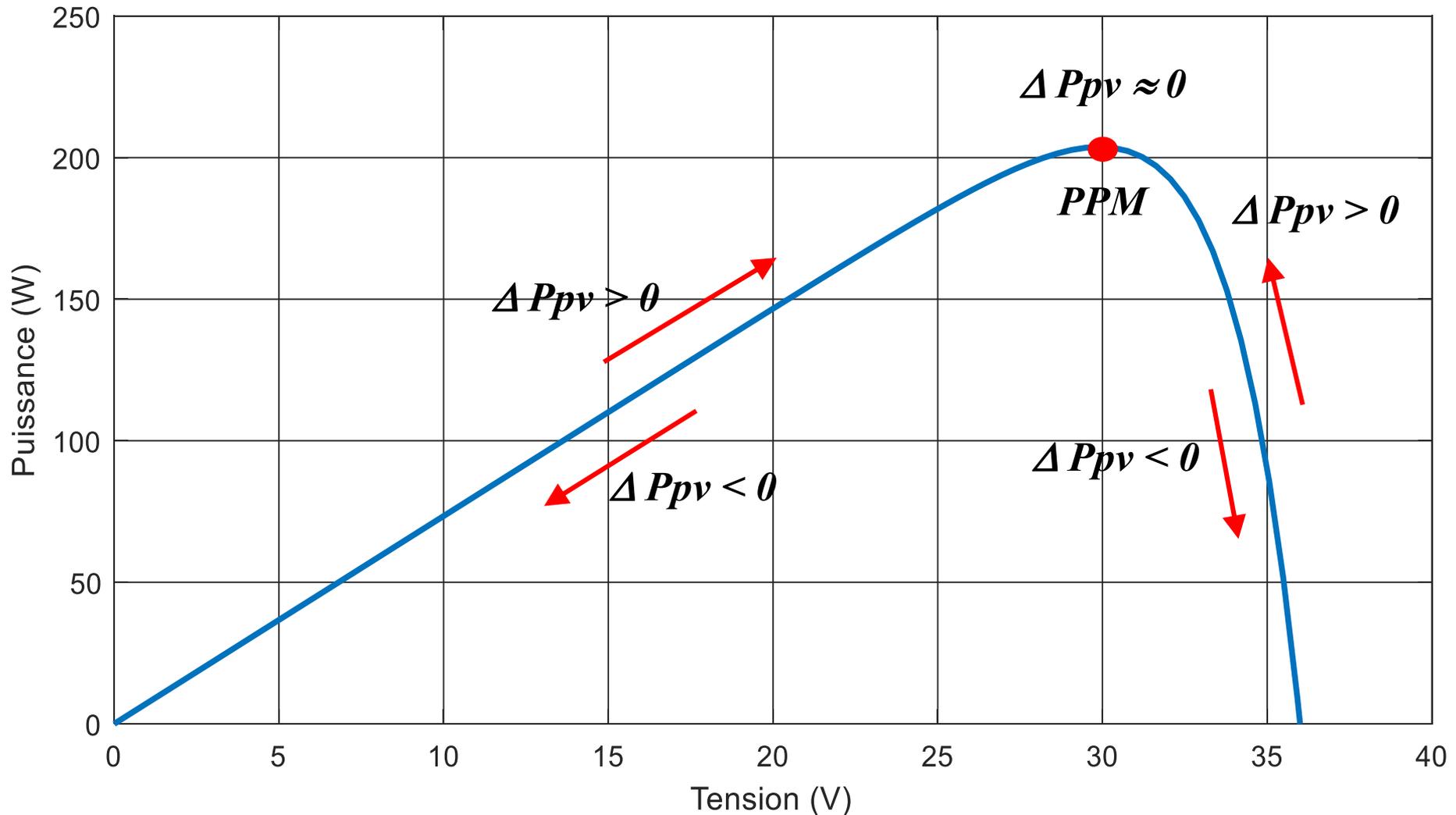


Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

- L'algorithme MPPT peut être indépendant (méthodes directes) ou dépendant (méthodes indirectes) des paramètres de générateur PV
- Méthodes basées sur un fonctionnement à tension fixe ou sur la tension du circuit ouvert, sur le courant court-circuit, sur la perturbation et l'observation (P&O), l'incrément de conductance (Inc-Cond), Hill Climbing, d'auto-oscillation, logique floue, les réseaux de neurones artificiels, essais particulières, ...
- Les critères pour évaluer un algorithme MPPT sont : la stabilité, l'erreur statique, la réponse dynamique, la robustesse vis-à-vis des perturbations, efficacité sur une large plage d'ensoleillement, nombre de capteurs, détection de multiples maximums locaux, ...

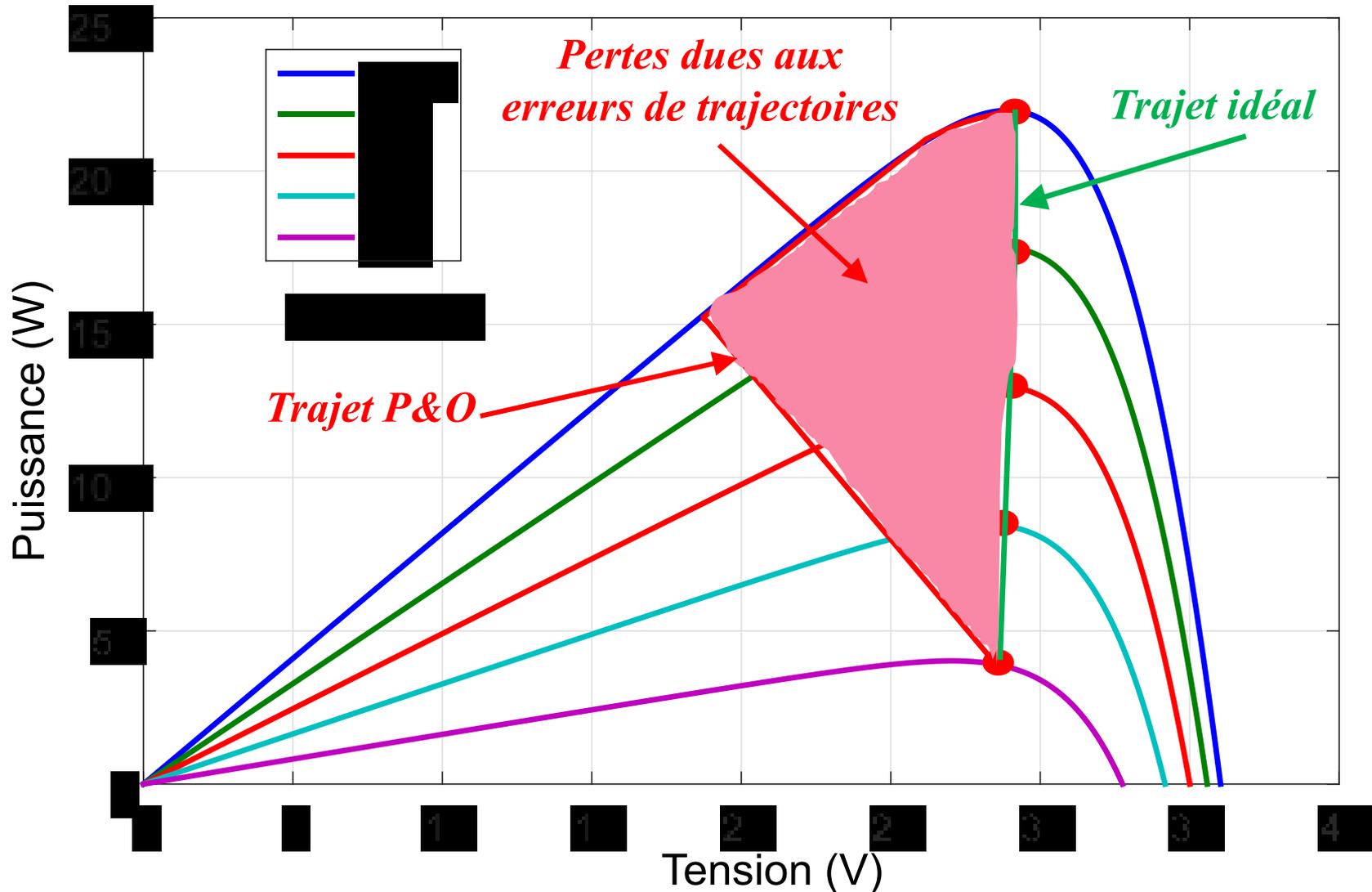
Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

Exemple : algorithme du type Perturbation et Observation (P&O)



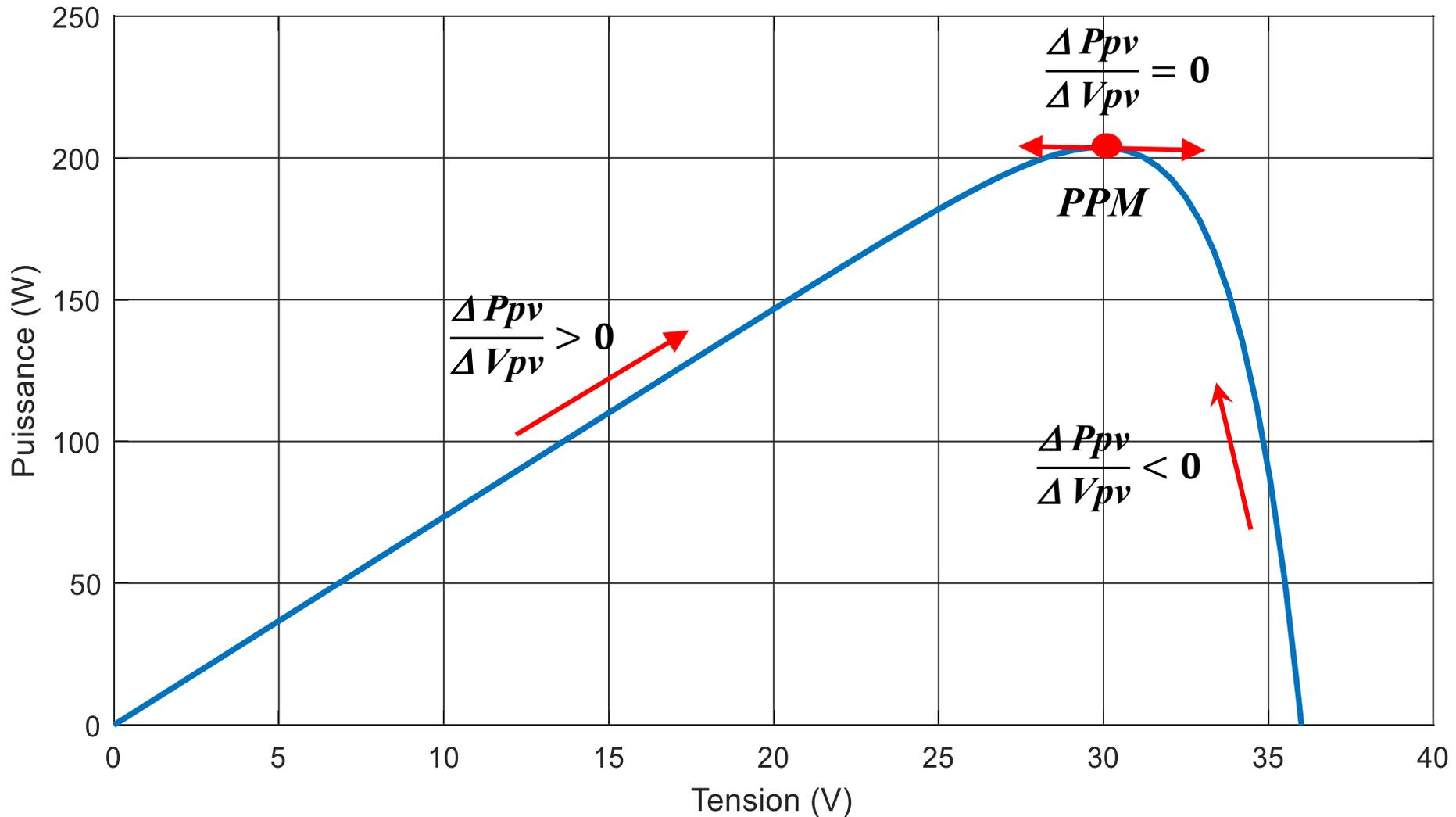
Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

Exemple : algorithme du type Perturbation et Observation (P&O)



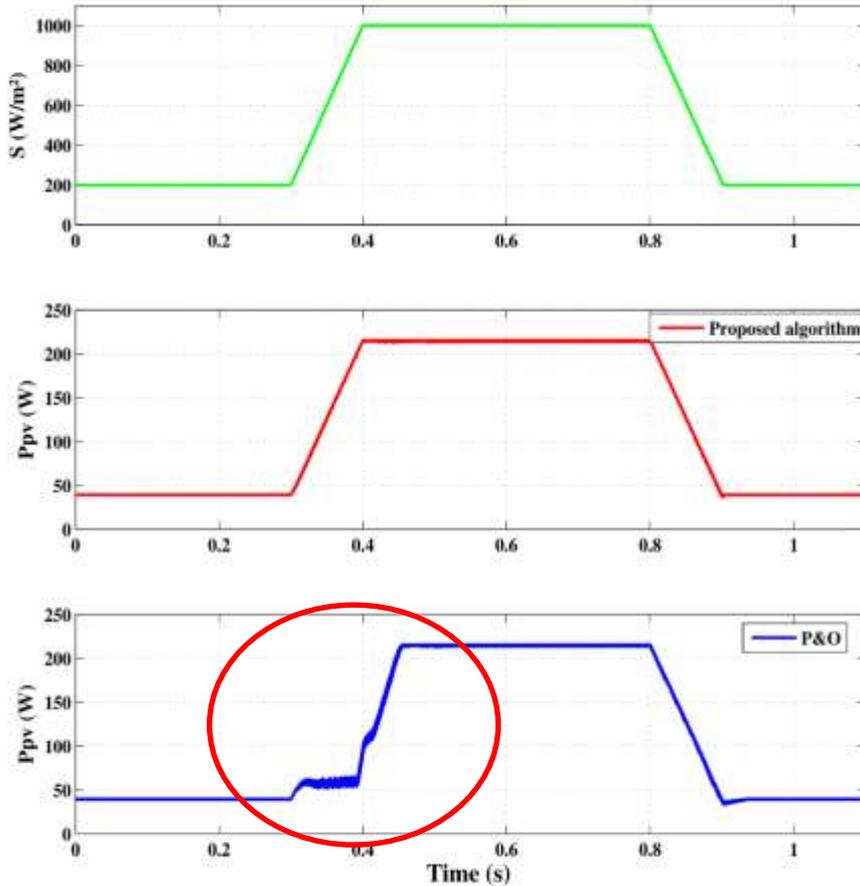
Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

Exemple : algorithme de l'incrément de conductance (IncCond)

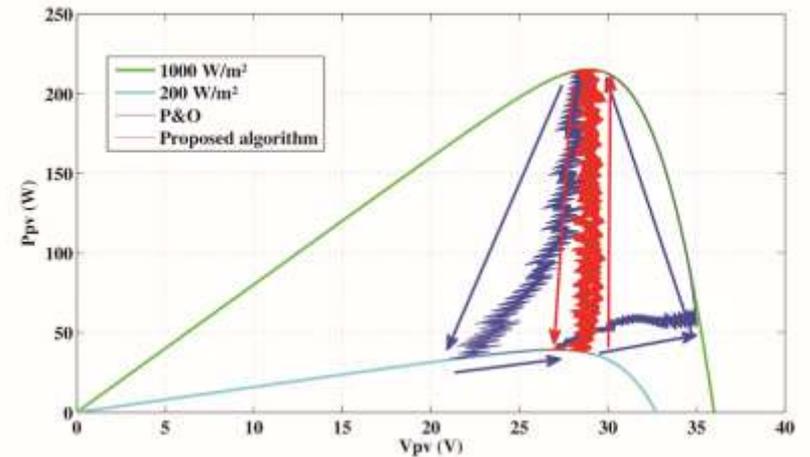


Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

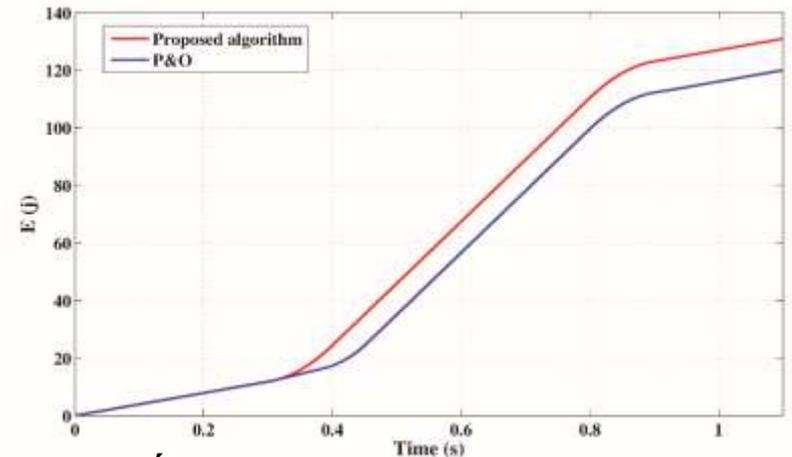
Comparaison algorithme du type Perturbation et Observation (P&O) et proposé



Variation de la puissance à la sortie du générateur PV



Évolution du point de fonctionnement

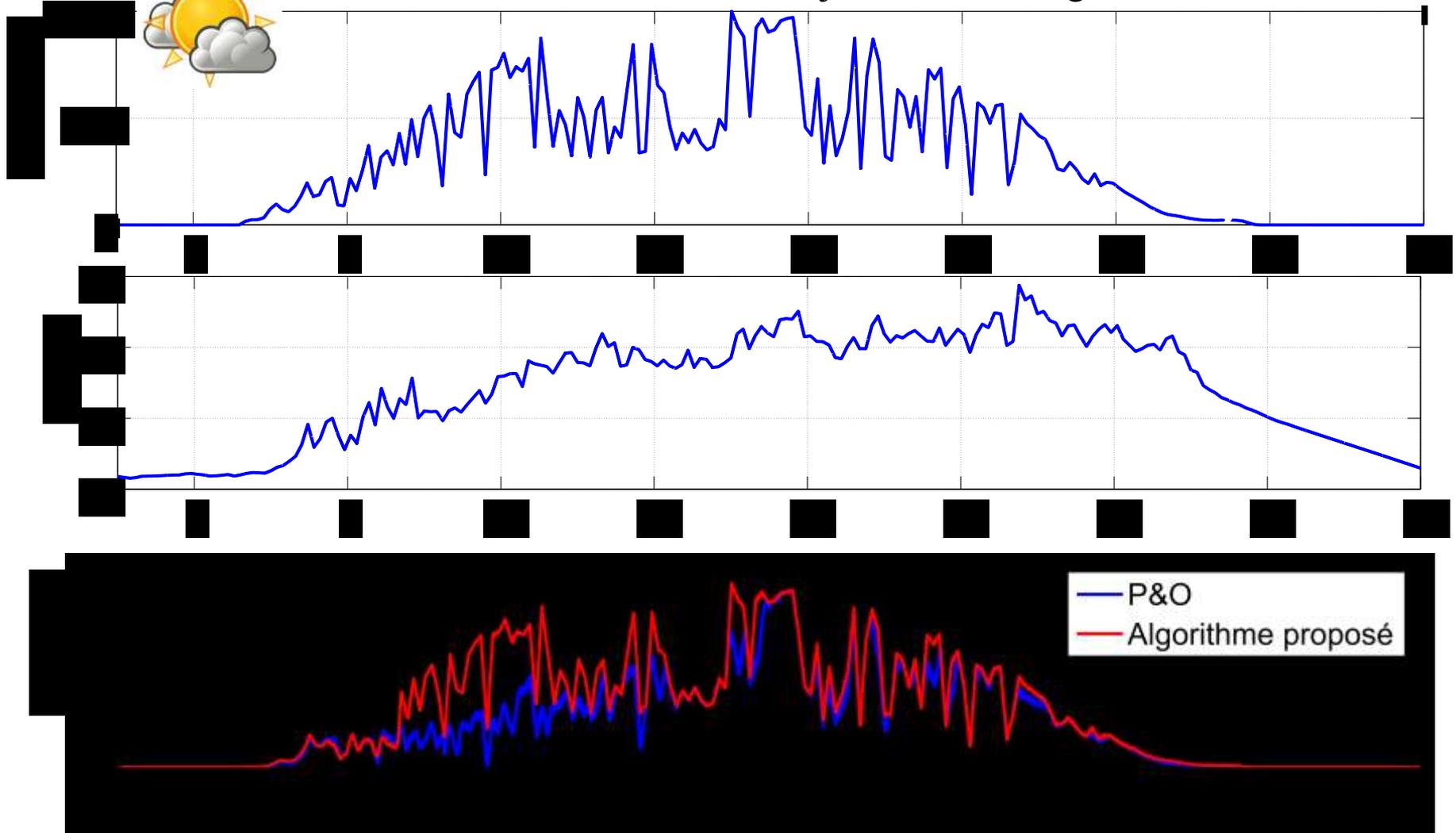


Énergie récupérée à la sortie du générateur PV

Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

Comparaison algorithme du type Perturbation et Observation (P&O) et proposé

Évolution de l'irradiation sur une journée très nuageuse

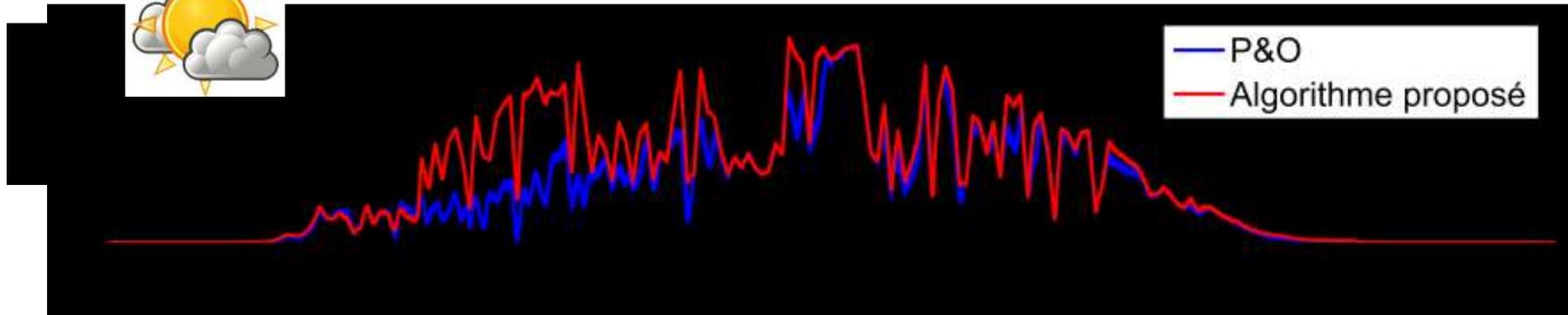


Algorithmes de recherche du PPM (MPPT)

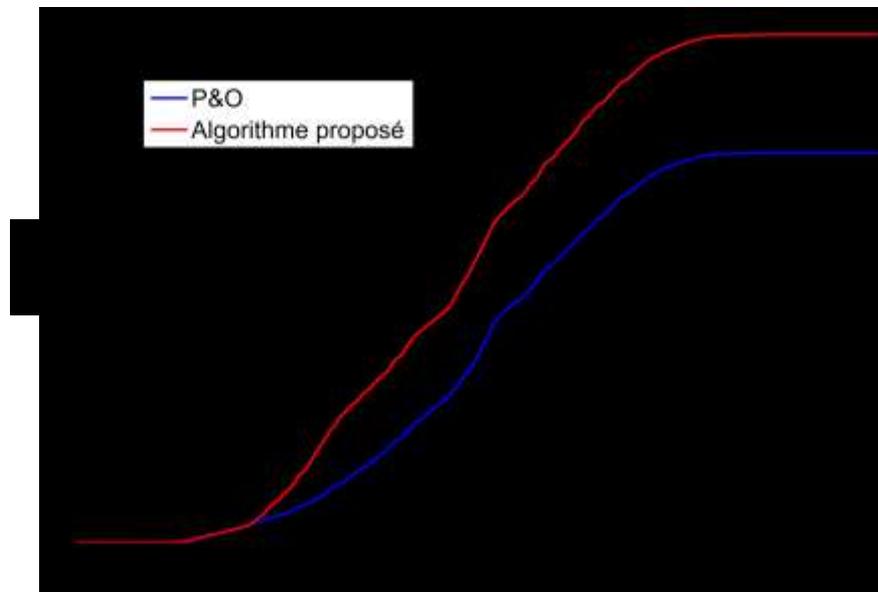
Comparaison algorithme du type *Perturbation et Observation (P&O)* et proposé



Évolution de l'irradiation sur une journée très nuageuse



Variation de la puissance à la sortie du générateur PV



Énergie récupérée à la sortie
du générateur PV

Optimisation de la capture de l'énergie électrique sous ombrage partiel

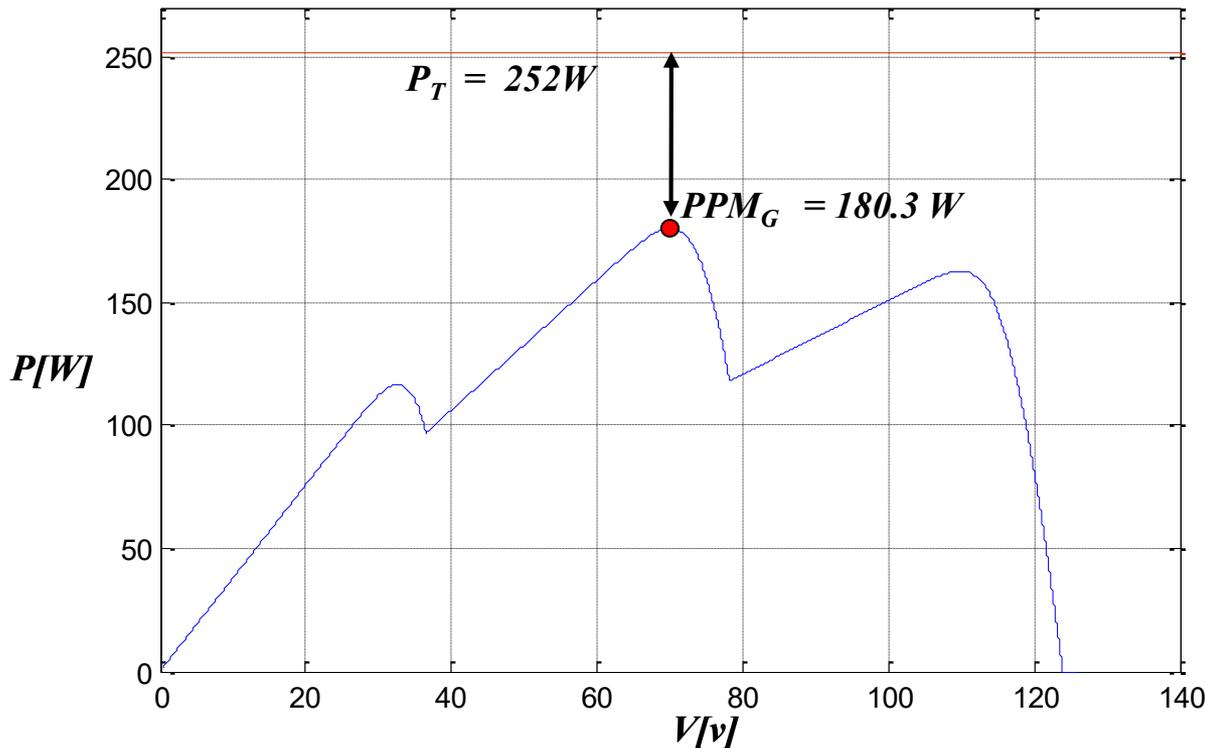
Exemple sur une configuration d'ombrage

Pour $G_1 = 1000 \text{ W/m}^2$ la puissance $P_{PPM1} = 120 \text{ W}$

Pour $G_2 = 700 \text{ W/m}^2$ la puissance $P_{PPM2} = 84 \text{ W}$

Pour $G_3 = 400 \text{ W/m}^2$ la puissance $P_{PPM3} = 48 \text{ W}$

$P_T = 252 \text{ W}$



$$P_{PPM_G} \ll \sum P_{PPM_i}$$

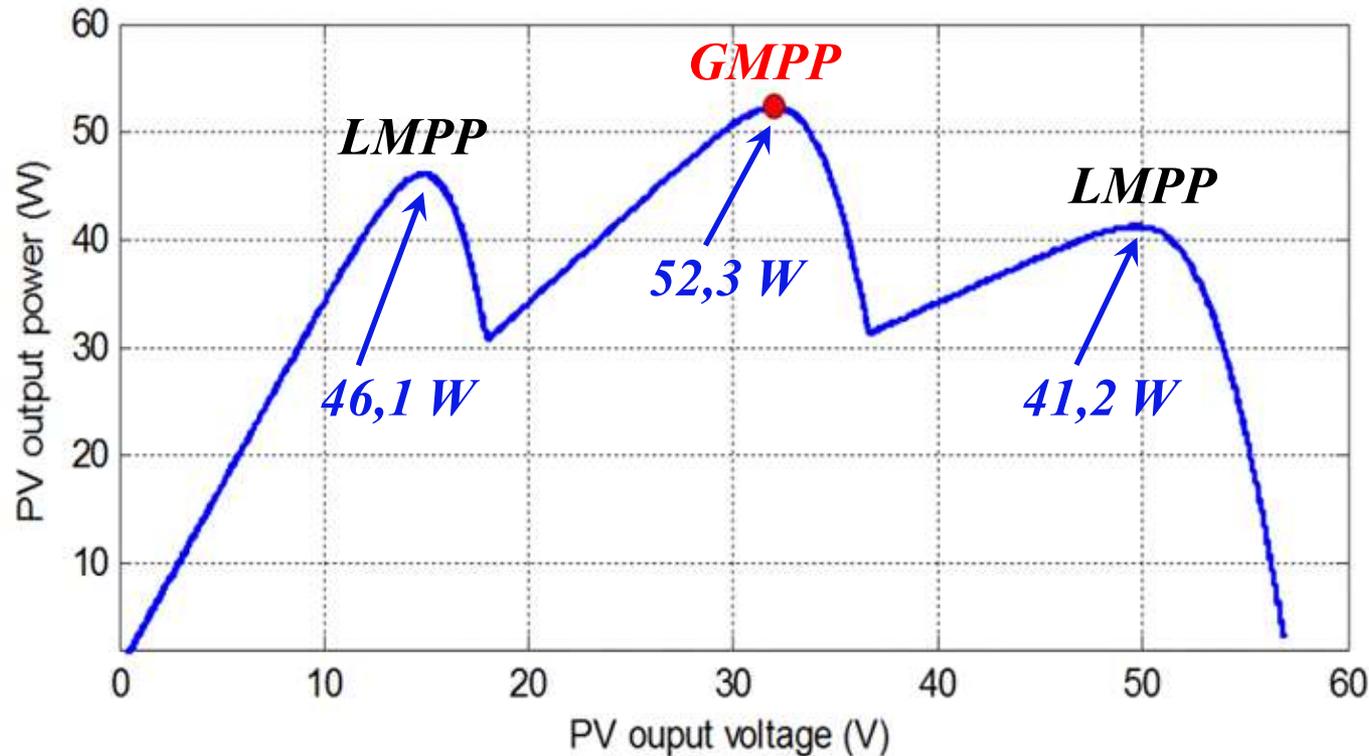


MPPT locale

$$(P_{PPM_G} / P_T) * 100 = 71.54\%$$

Solution Software

Exemple sur une configuration d'ombrage où le GMPP est centré
Essai en simulation

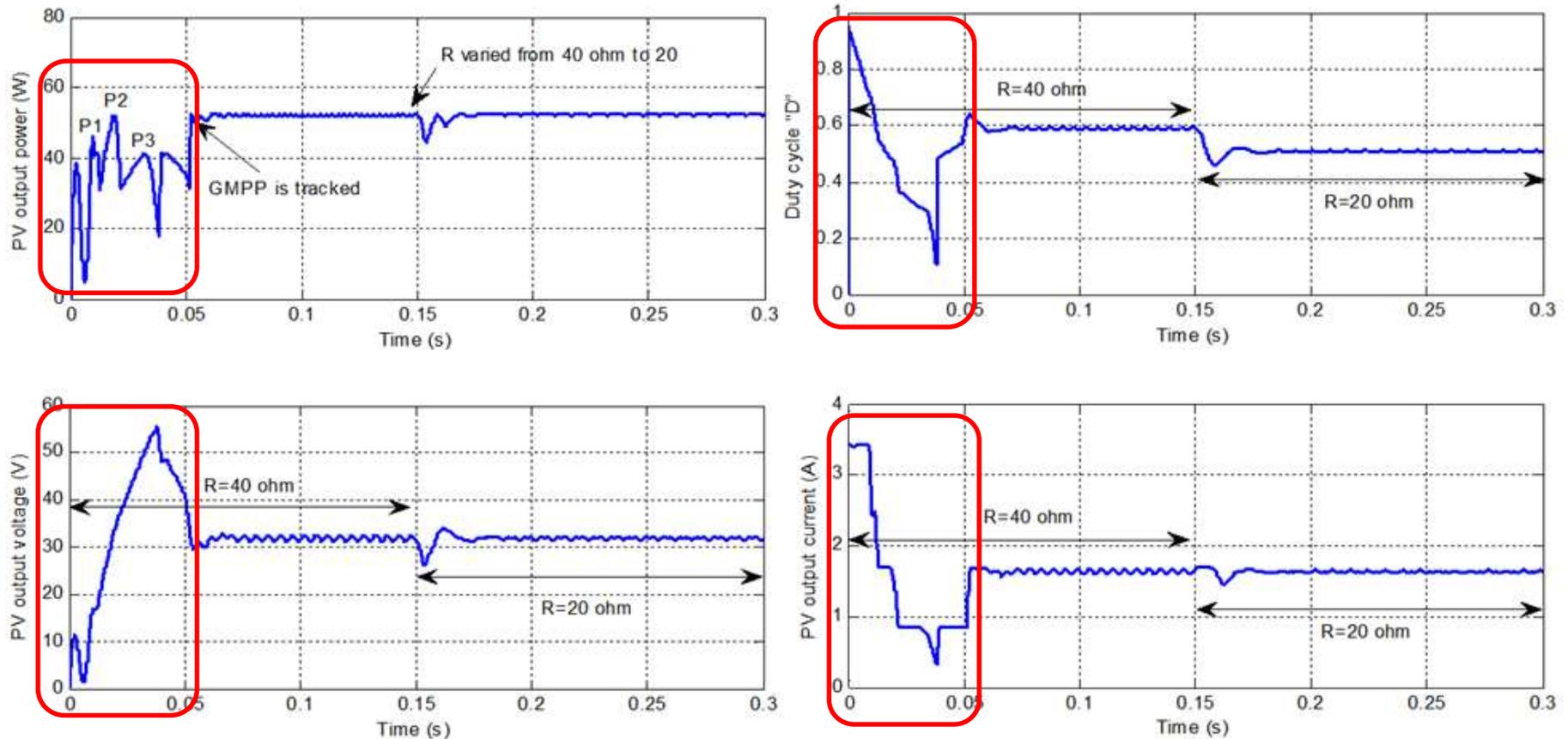


Irradiation solaire des 3 PV : 1000 W/m^2 ; 500 W/m^2 ; 250 W/m^2

Solution Software

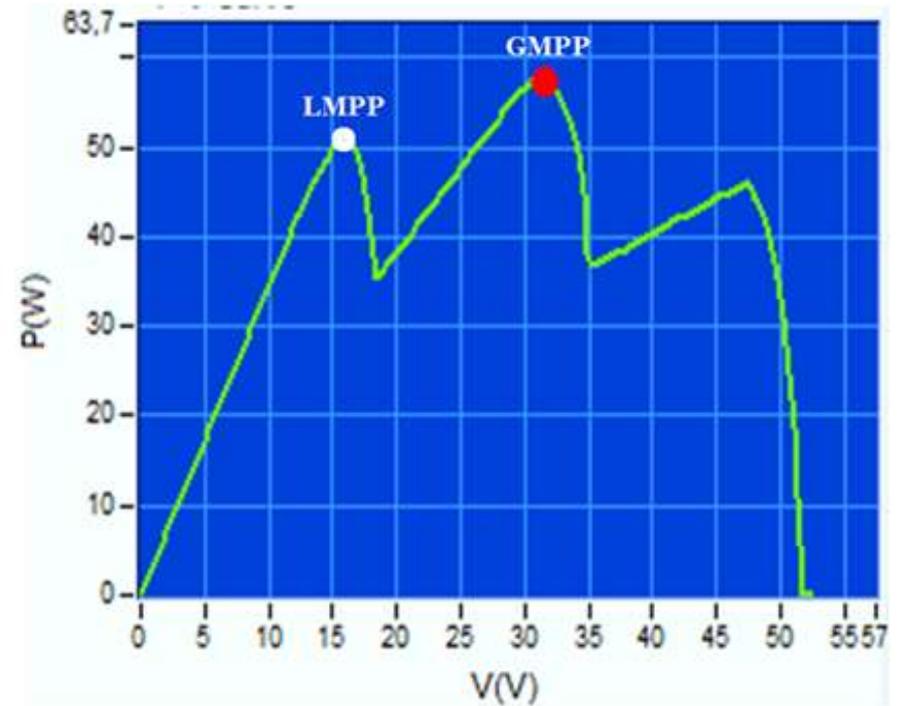
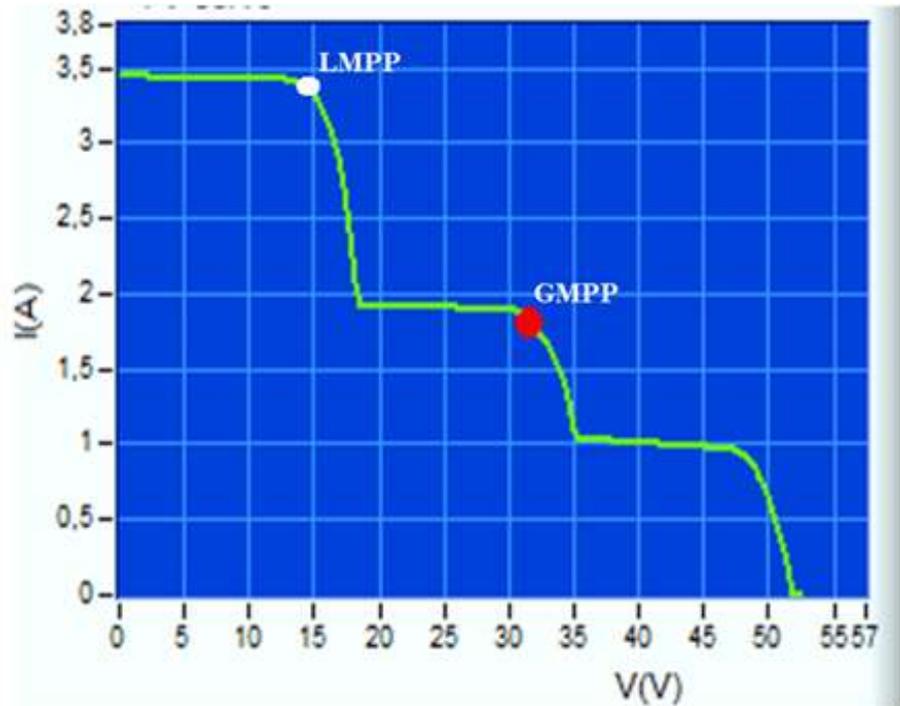
Exemple sur une configuration d'ombrage où le GMPP est centré
Essai en simulation

Scan



Irradiation solaire des 3 PV : 1000 W/m^2 ; 500 W/m^2 ; 250 W/m^2

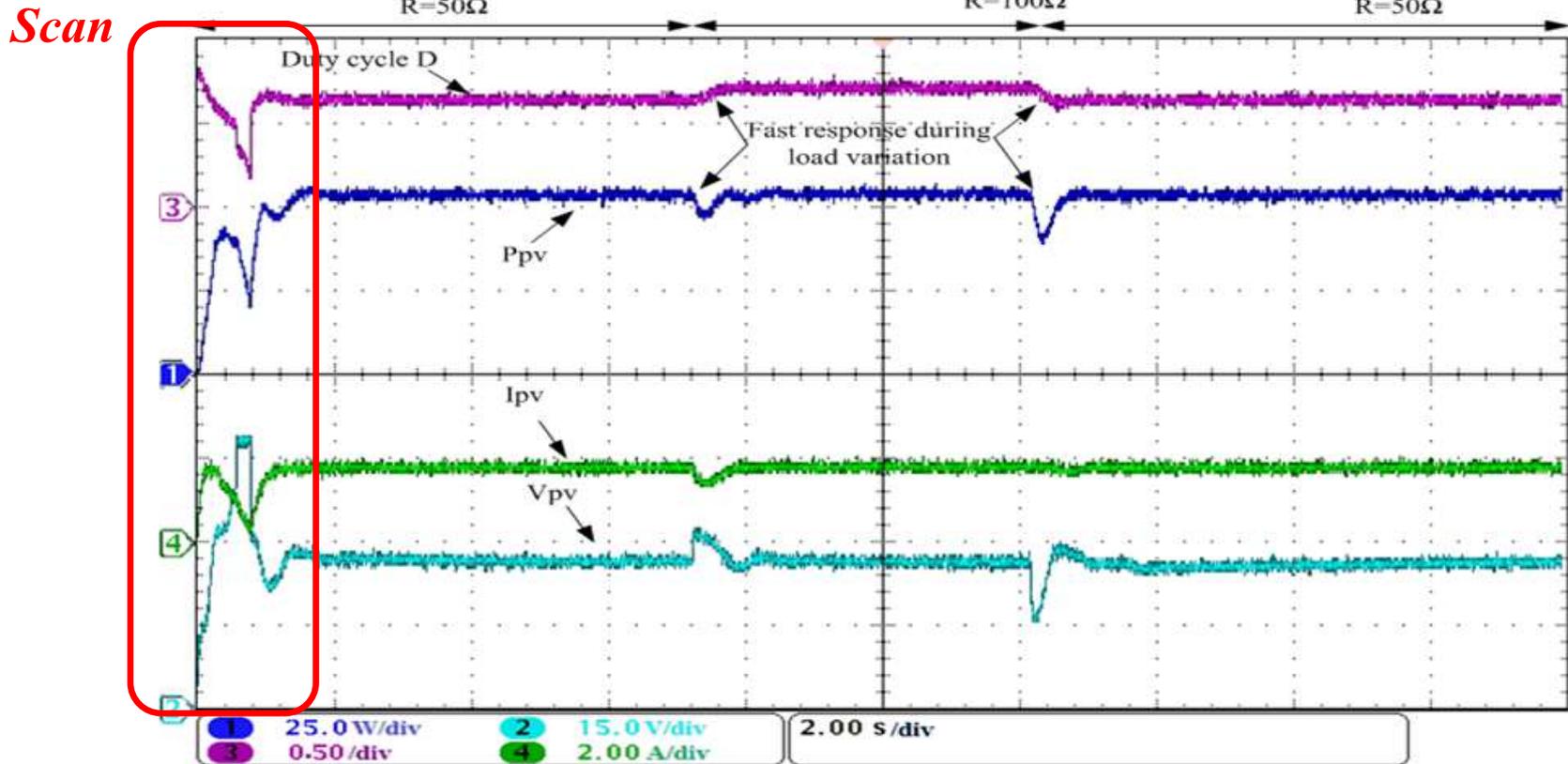
Exemple sur une configuration d'ombrage où le GMPP est centré
Relevés expérimentaux



Irradiation solaire des 3 PV : 1000 W/m²; 500 W/m²; 250 W/m²

GMPP : $I_{mpp} = 1,85 A$; $V_{mpp} = 31,2 V$; $P_{mpp} = 57,8 W$

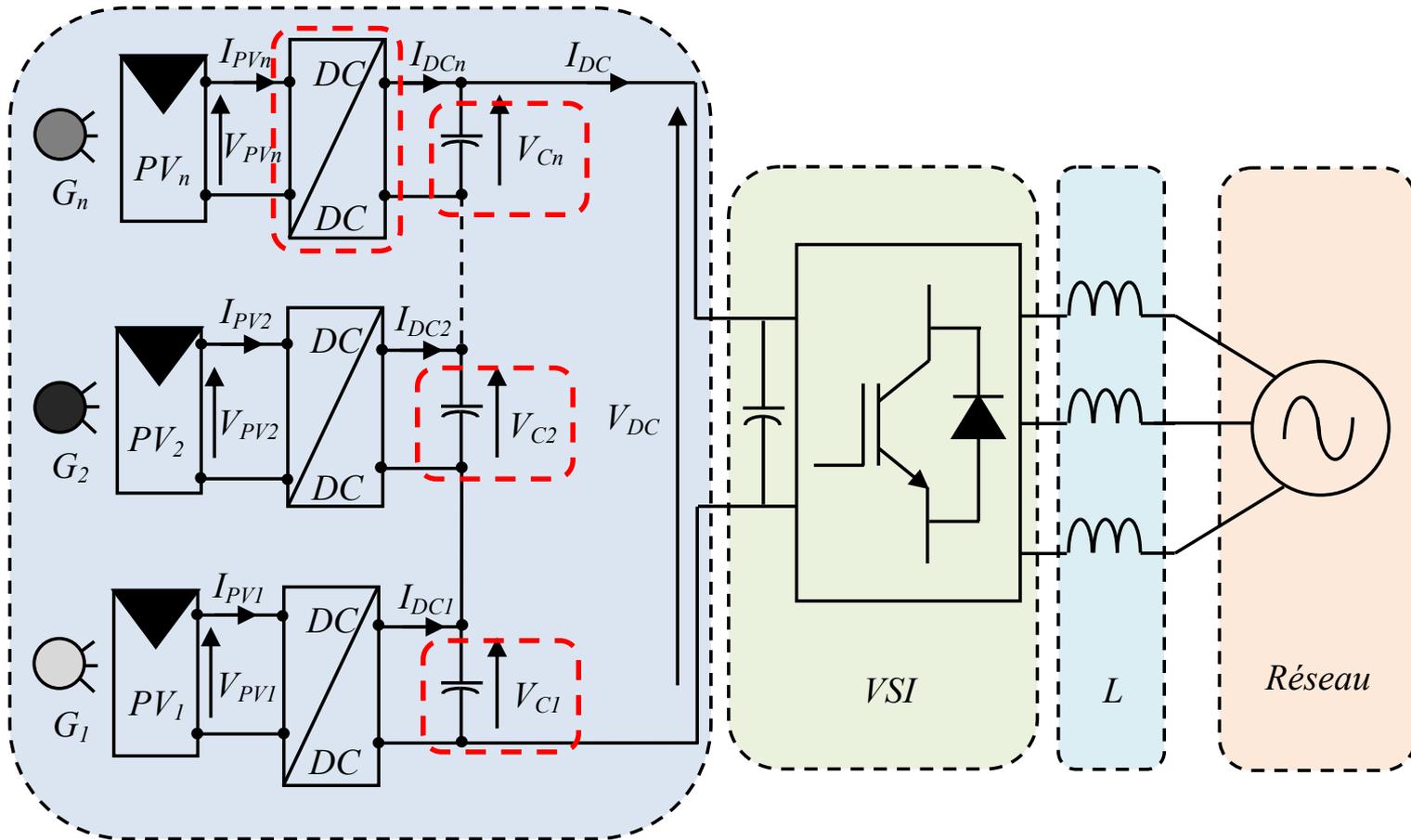
Exemple sur une configuration d'ombrage où le GMPP est centré Relevés expérimentaux



Irradiation solaire des 3 PV : 1000 W/m²; 500 W/m²; 250 W/m²

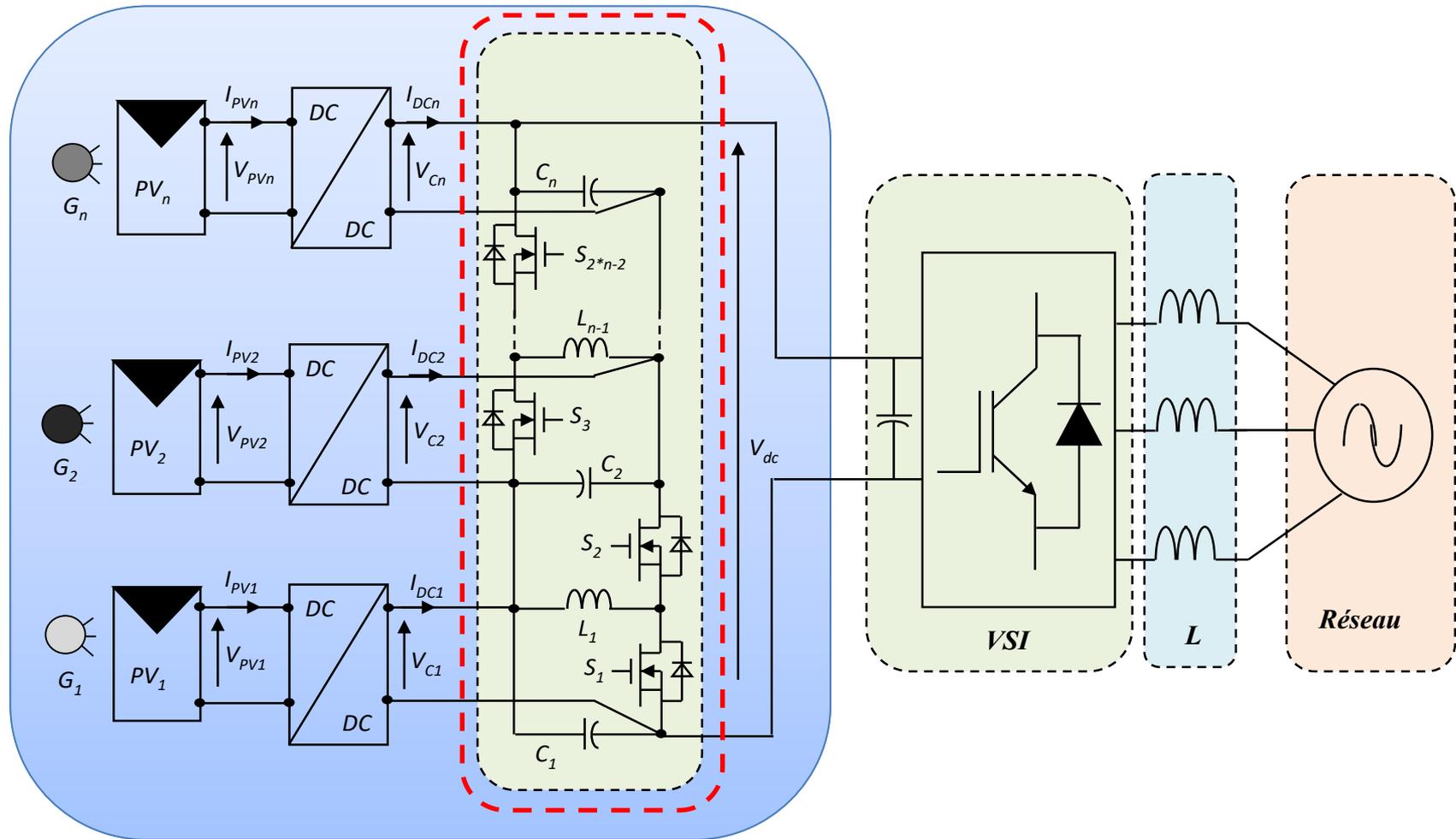
Solution hardware

MPPT locale avec un convertisseur DC-DC en cascade



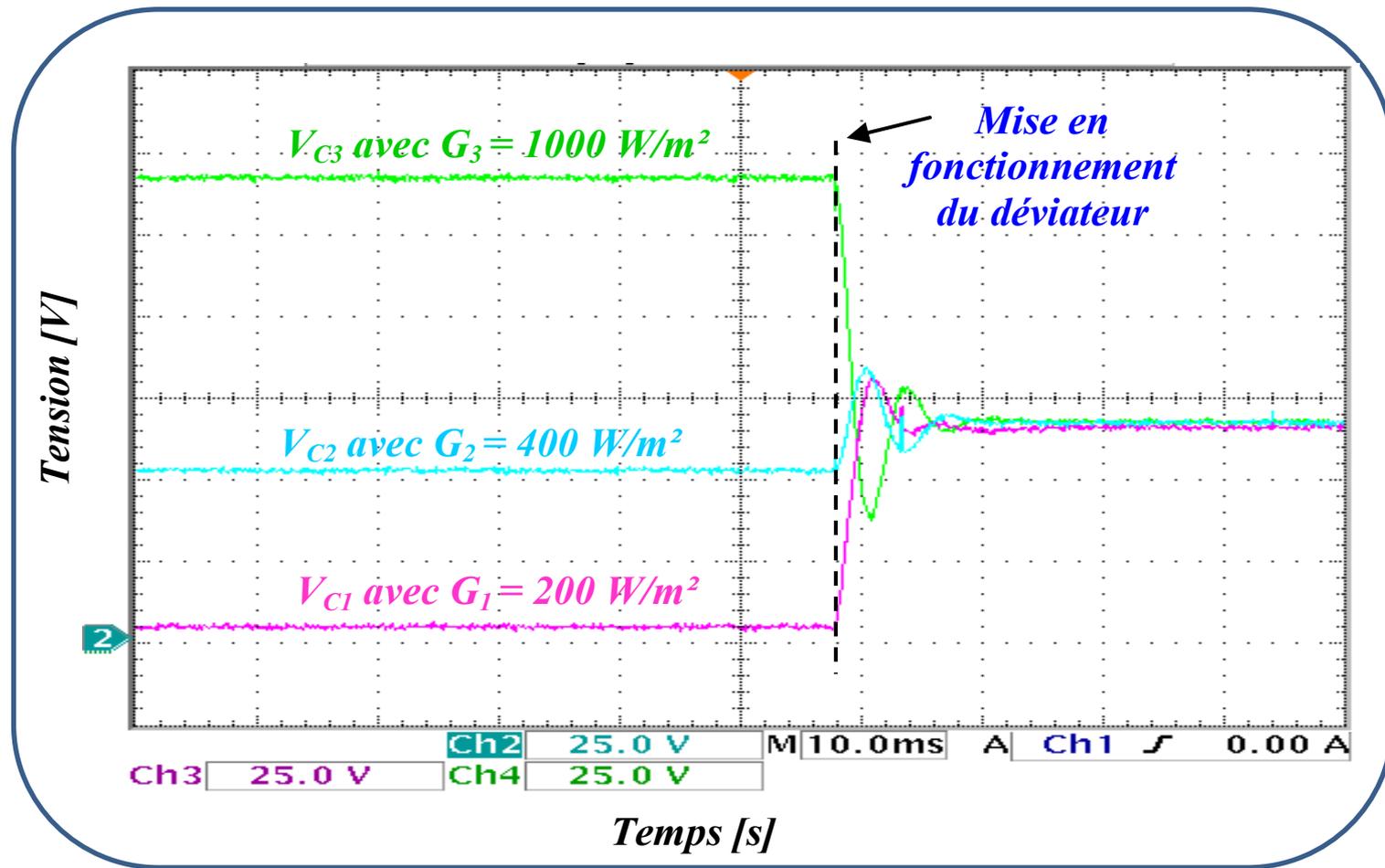
Optimisation de la capture de l'énergie électrique sous ombrage partiel

MPPT locale avec un convertisseur DC-DC en cascade et **déviateur de courant**



Optimisation de la capture de l'énergie électrique sous ombrage partiel

Expérimentation de la MPPT locale avec un convertisseur DC-DC et déviateur de courant



Expérimentation de la MPPT locale avec un convertisseur DC-DC et déviateur de courant

	P_{PV1} (W)	P_{PV2} (W)	P_{PV3} (W)	P_T (W)	P_{DC} (W)	Rendement (%)
<i>Puissances théoriques</i>	120.0	48.0	24.0	192	192	-
<i>Puissances avec la méthode classique</i>	103.0	45.0	3.0	151	151	78.64%
<i>Puissances avec la méthode proposée</i>	116.6	45.5	22.7	184.8	180.5	94.01%



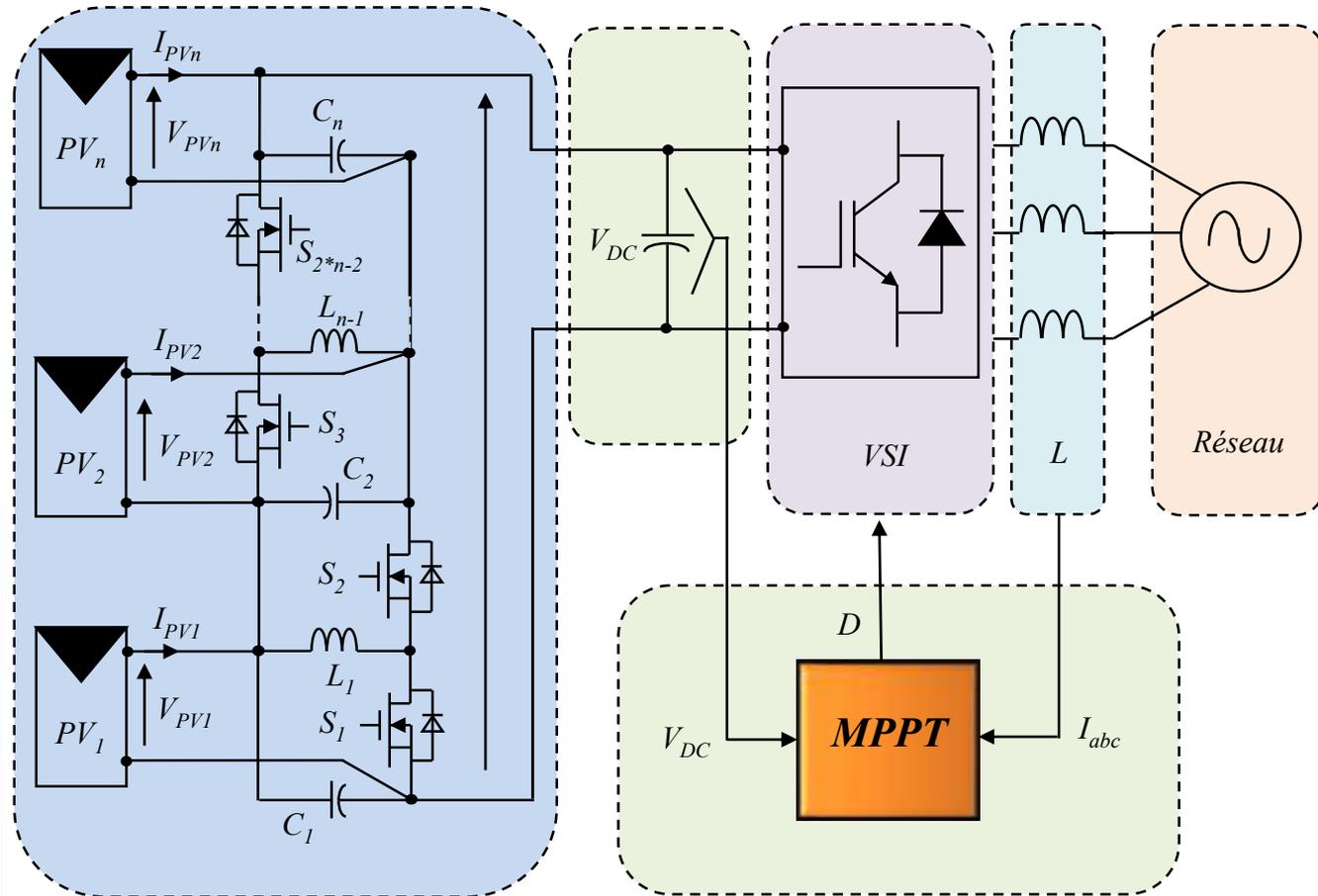
Solution hardware

MPPT globale avec déviateur de courant sans convertisseurs DC-DC

Observation

La variation de la tension au point de puissance maximale V_{PPM} en fonction de l'ensoleillement est très faible

Proposition



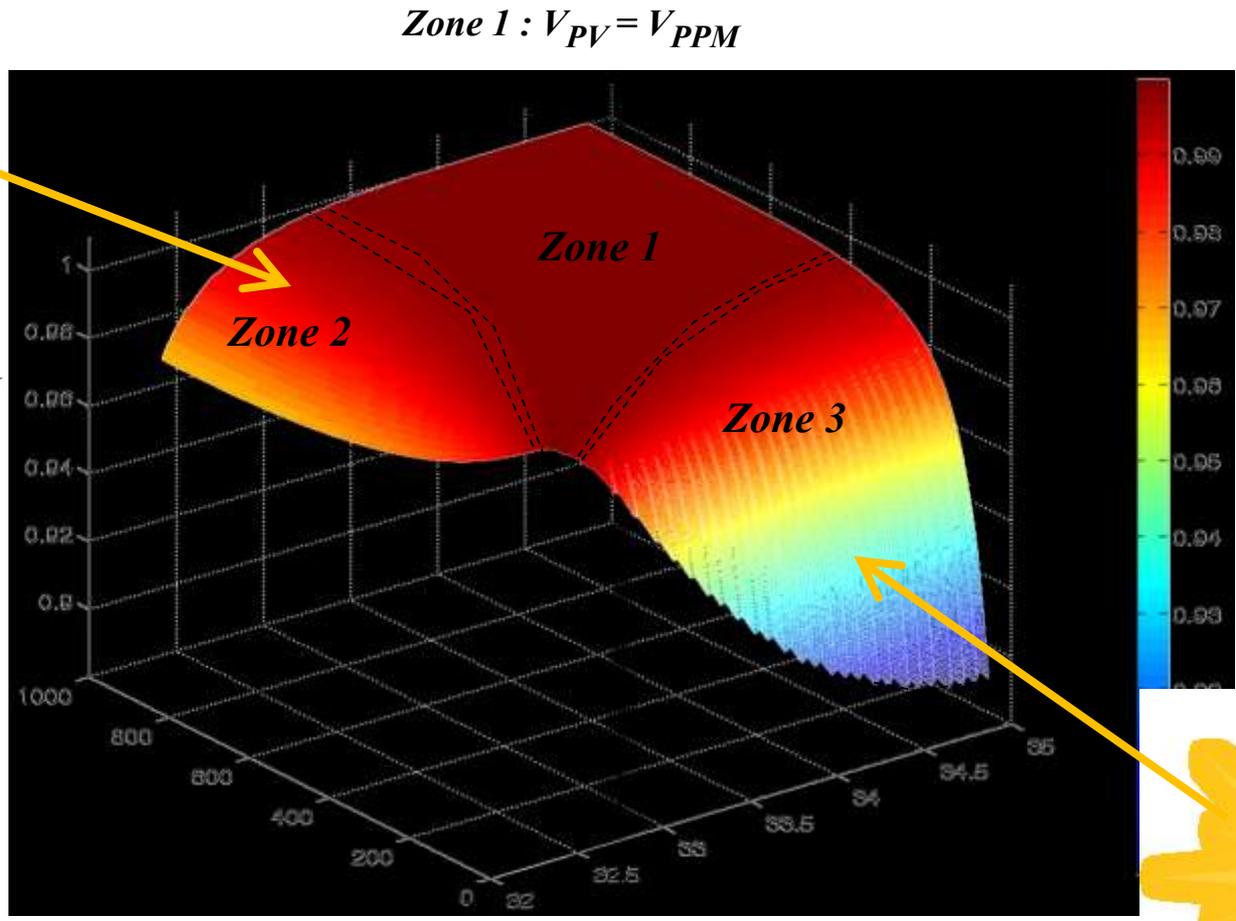
Optimisation de la capture de l'énergie électrique sous ombrage partiel

Résultats avec MPPT globale et déviateur de courant sans convertisseurs DC-DC



Zone 2 : $V_{PV} < V_{PPM}$

η



Zone 1 : $V_{PV} = V_{PPM}$

Zone 3 : $V_{PV} > V_{PPM}$



Optimisation des générateurs photovoltaïques

Conclusion

- **Prise en compte des phénomènes de disparité réalistes et fréquents de l'irradiation (sur les centrales PV, habitat résidentiel ou tertiaire)**
- **Optimisation des algorithmes d'extraction de la puissance maximale (MPPT)**
- **Amélioration de la productivité dans des configurations d'ombrage partiel**
- **Elaboration d'une architecture de conversion de puissance adaptée aux différentes configurations**
- **Choix des structures des convertisseurs de puissance les plus efficaces**

Perspectives

- **Poursuivre la recherche sur les cellules photovoltaïques pour augmenter leur rendement de conversion**
- **Concevoir des stratégies de gestion optimale des flux d'énergie pour l'injection de la puissance sur les réseaux électriques de distribution**
- **Rendre les réseaux insensibles à l'intermittence des énergies renouvelables**
- **Garantir la sécurité, la fiabilité et la stabilité des Smart Grid**



Merci

de votre attention