

## IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va étudier les résultats obtenus des performances de la MPPT et valider l'algorithme de l'injection de puissance dans le réseau à partir de la chaîne de conversion photovoltaïque (panneaux solaires, hacheur). Elles sont obtenues à l'aide du programme de simulation (MATLAB/Sim-power-système). Cela nous permettra de déterminer les contraintes d'utilisation et d'exploitation du réseau électrique hybride. Le réseau pris en charge de cette étude peut être assimilé au besoin d'une maison futur qui utilise deux sources d'énergie. La commande utilisée devra prendre en charge ses besoins en énergie réactive.

## IV.2 Simulation du système photovoltaïque global « PV » raccordé au réseau

Dans cette étude on a utilisé un champ photovoltaïque de 1600W raccordé à un réseau de distribution de 380V, via un hacheur BOOST avec les paramètres suivants:

$$L = 0.014H, R = 0.3 \Omega, C_1 = C_2 = 0.0022 F$$

Contrôlé par une commande MPPT de type P&O et INC

un onduleur triphasé commandé en PWM. La charge considérée est de type inductif qui représente dans la majorité des cas la charge réelle d'une habitation. Le schéma synoptique de connexion au réseau électrique se présente comme suit :

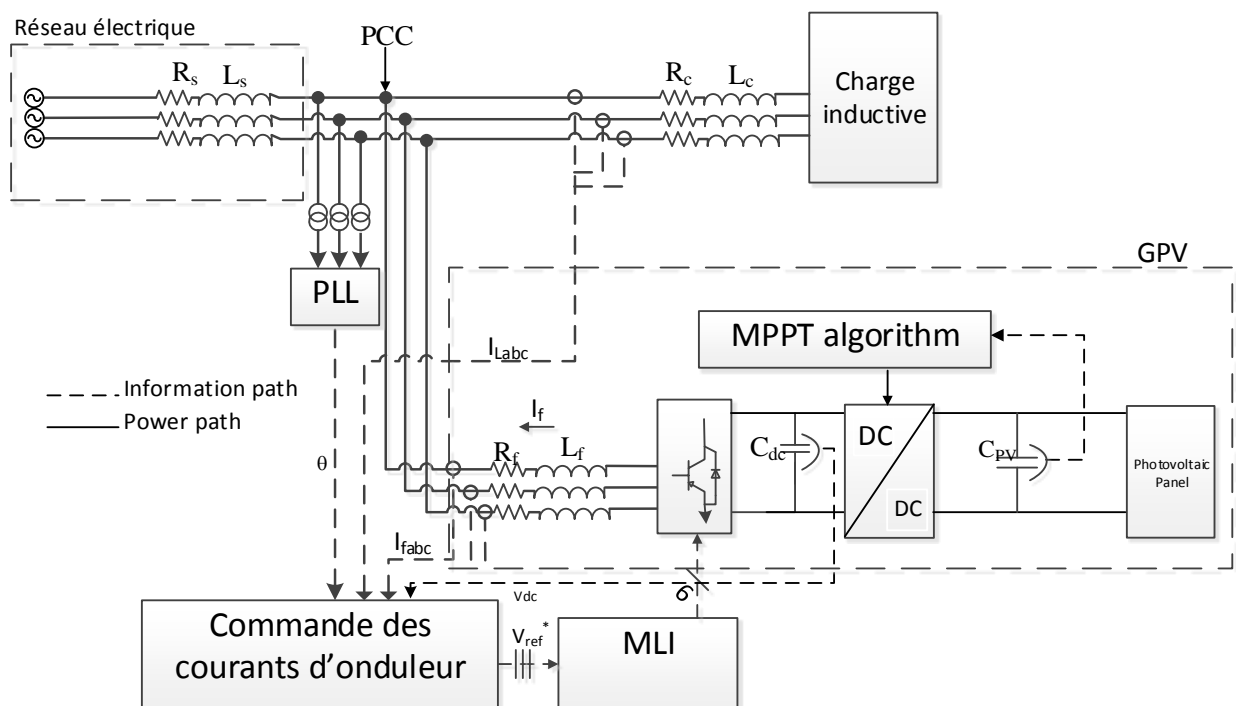


Figure IV. 1 : Schéma électrique global PV raccordé au réseau.

### IV.3 Résultats de simulation

#### IV .3.1 Modélisation du générateur photovoltaïque GPV

La première partie consiste à l'implantation du modèle du panneau en mode standard et en mode particulier lorsque les conditions météorologiques varient.

En mode standard 25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup> on cherche à déterminer le courant, la tension et la puissance du panneau. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures II.2.3.4.5.6.7. On constate une bonne corrélation avec la théorie. En effet, le modèle pris en charge permet de générer la puissance désirée tout en maintenant un niveau de tension stable, ce qui nous permet de valider le modèle pris en charge. Dans le cas où envisage l'augmentation de la puissance, on doit augmenter le nombre de cellules en parallèle suivant la topologie considérée.

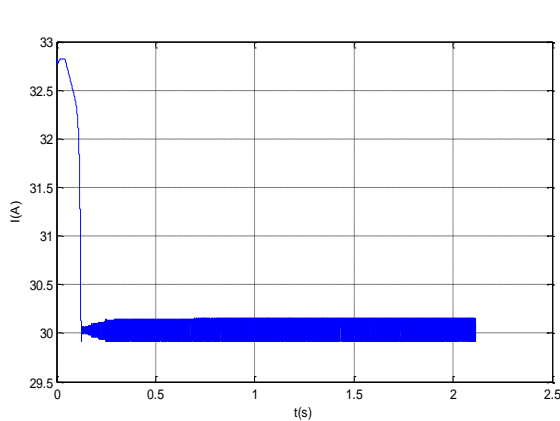


Figure IV. 2 : Le courant de panneau  $I_{pv}$  (P&O)

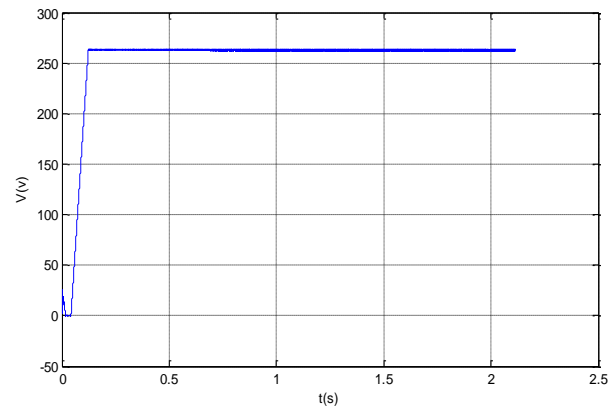


Figure IV. 3 : La tension de panneau  $V_{pv}$  (P&O)

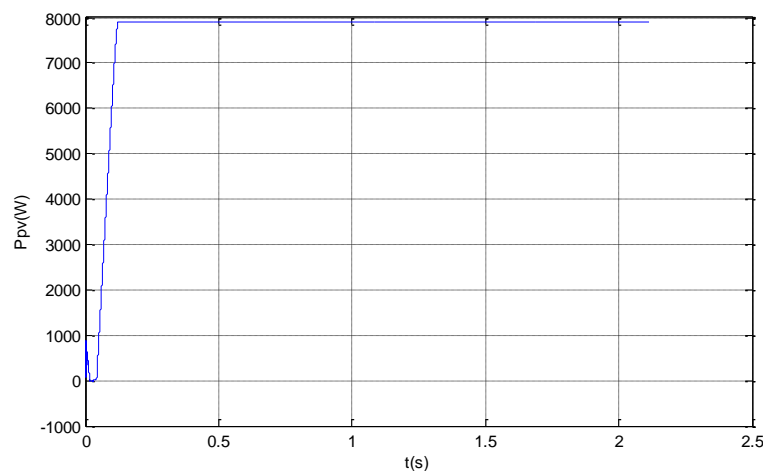
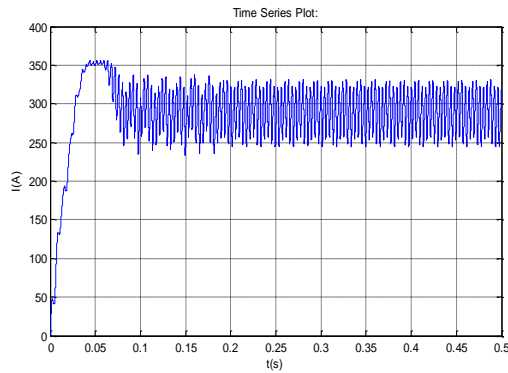
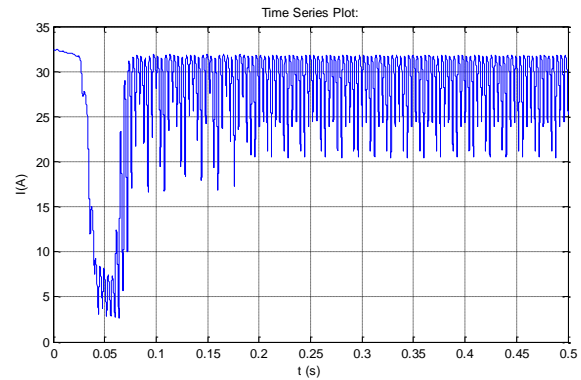


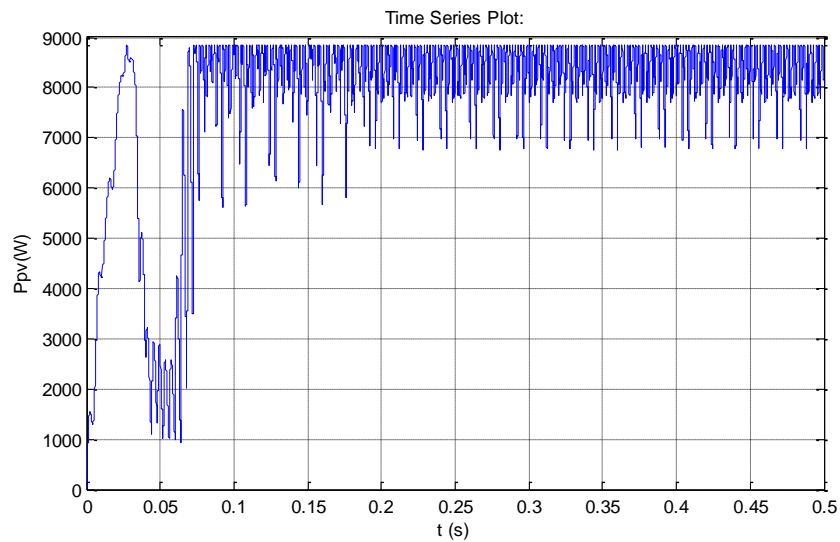
Figure IV. 4 : La puissance de panneau. (P&O)



**Figure IV. 5 :** Le courant de panneau  $I_{pv}(INC)$



**Figure IV. 6 :** La tension de panneau  $V_{pv}( INC)$



**Figure IV. 7 :** La puissance de panneau. (INC)

### IV.3.2 Cas particulier l'influence des paramètres météorologique

#### a) L'ensoleillement

Les figures III.8.9.10.11.12.13 montrent les caractéristiques électriques de notre générateur pour différentes valeurs d'éclairement et pour une température de 25°C.

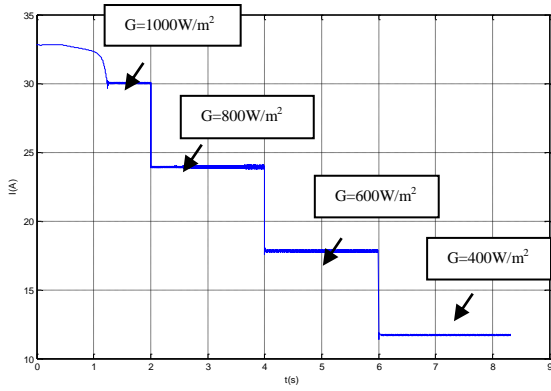


Figure IV. 8 : Le courant de panneau T (25°C).(P&O)

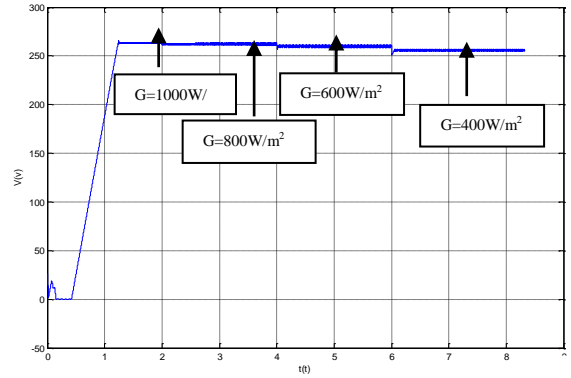


Figure IV. 9 : La tension de panneau T (25°C).(P&O)

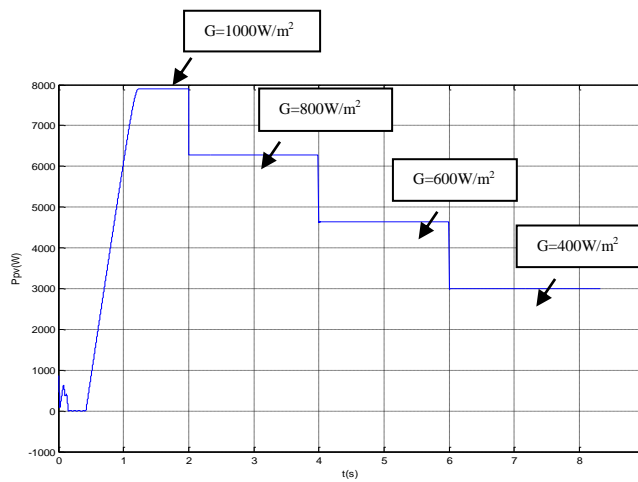


Figure IV. 10 : La puissance de panneau T (25°C).(P&O)

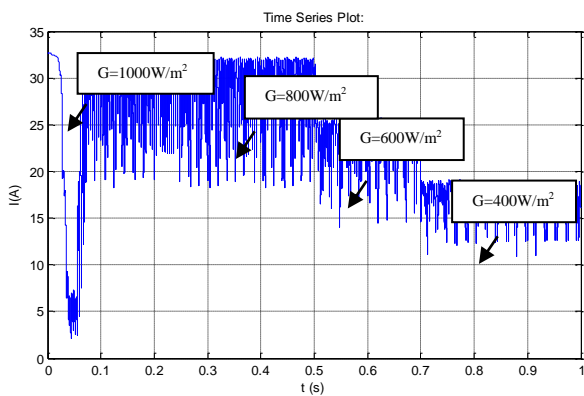


Figure IV. 11 : Le courant de panneau T (25°C).(INC)

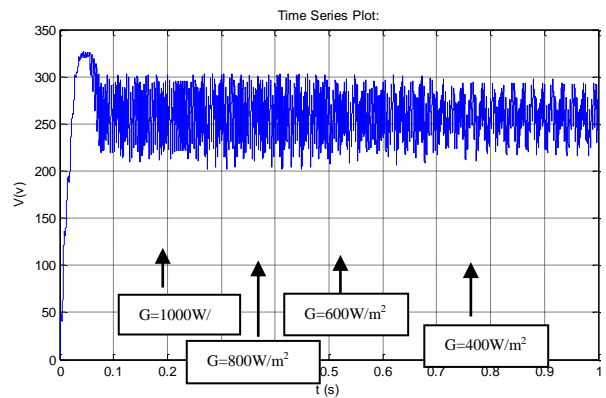
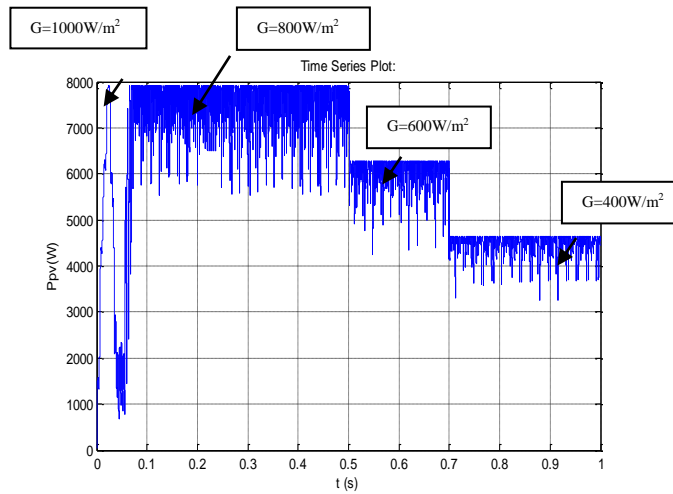


Figure IV. 12 : La tension de panneau T (25°C).(INC)

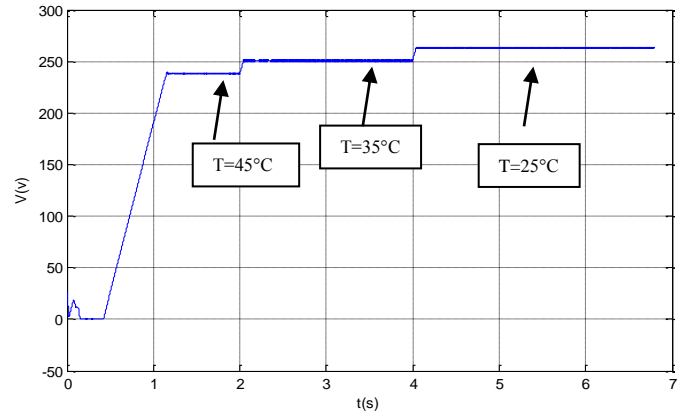
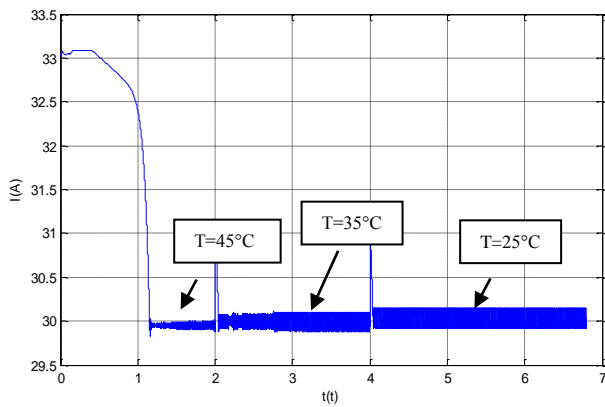


**Figure IV. 13 :** La puissance de panneau T (25°C).(INC)

Donc la diminution de l'éclairement fait diminuer la tension de sortie du générateur et aussi la puissance et en conséquence elle influe sur le système global.

**b) Température**

Les figures IV.14.15.16.17.18.19, montrent les caractéristiques électriques de ce générateur pour différentes valeurs température et pour d'éclairement  $1000W/m^2$ .



**Figure IV. 14 :** Le courant de panneau  $G=1000W/m^2$ . (P&O) **Figure IV. 15 :** La tension de panneau  $G=1000W/m^2$ . (P&O)

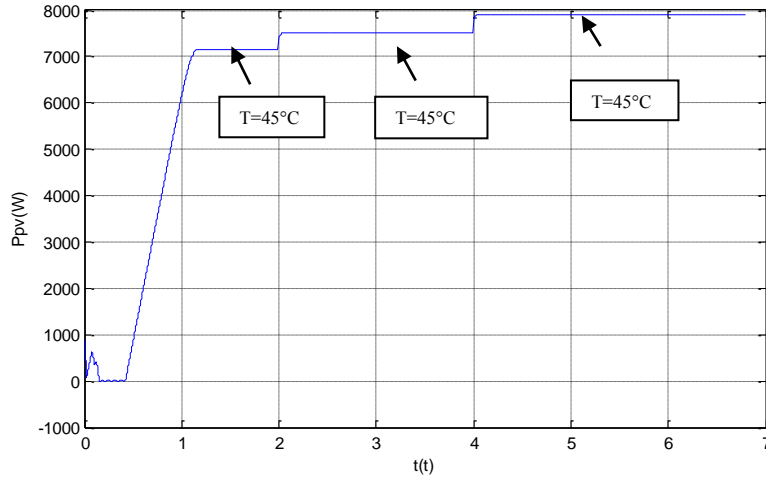


Figure IV. 16: La puissance de panneau  $G=1000W/m^2$ . (P&O)

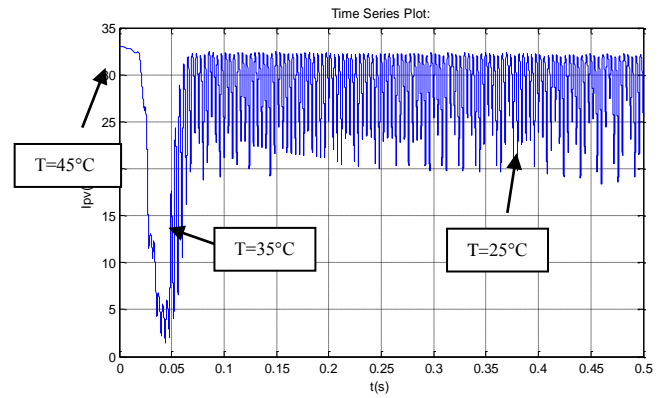
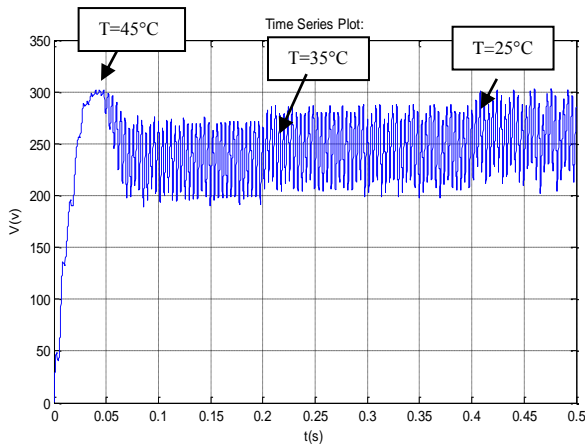


Figure IV. 17 : Le courant de panneau  $G=1000W/m^2$  .(INC)      Figure IV. 18 : La tension de panneau  $G=1000W/m^2$  .(INC)

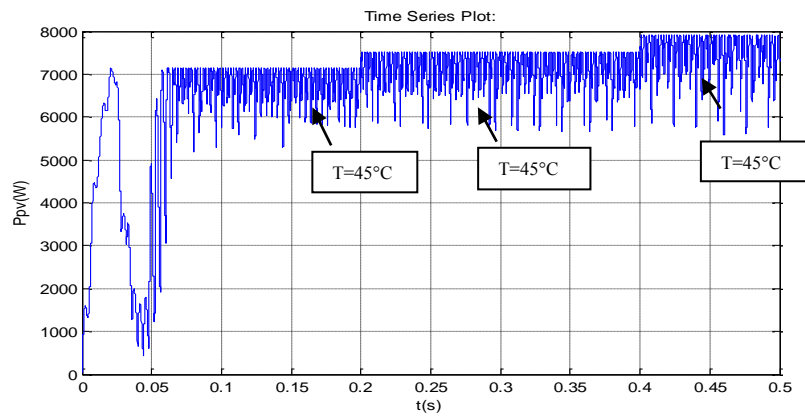


Figure IV. 19: La puissance de panneau  $G=1000W/m^2$  .(INC)

On remarque que notre modèle suit correctement les prédictions théoriques ce qui permet de sa validation. En effet on ne constate que la température à un effet négative sur la puissance. Plus la température augmente moins est la puissance disponible en sortie. Par compte l'ensoleillement permet une puissance plus importante en sortie.

On peut conclure que le choix de l'emplacement des panneaux est primordial. En doit tenir compte de l'ensoleillement avec prise en charge de la température. L'installation d'un champ PV en plein sud n'est pas judicieux vue que la température peut atteindre les 54 degré a l'ambre. De plus on doit conserver un ensoleillement constant c'est à dire tenir compte de ombrage des panneaux, l'inclinaison et sa position vue a vis du soleil et de notre altitude.

#### IV.4 Simulation de l'onduleur à deux niveaux branché sur source photovoltaïque

La simulation du troisième étage qui correspond au composant clé du système PV, l'onduleur a deux niveaux qui relie le GPV à la charge ou un réseau électrique. Le système est en boucle ouverte, commandé par MLI (modulation de largeur d'impulsion). La fréquence 50 Hz et l'amplitude de 220V.

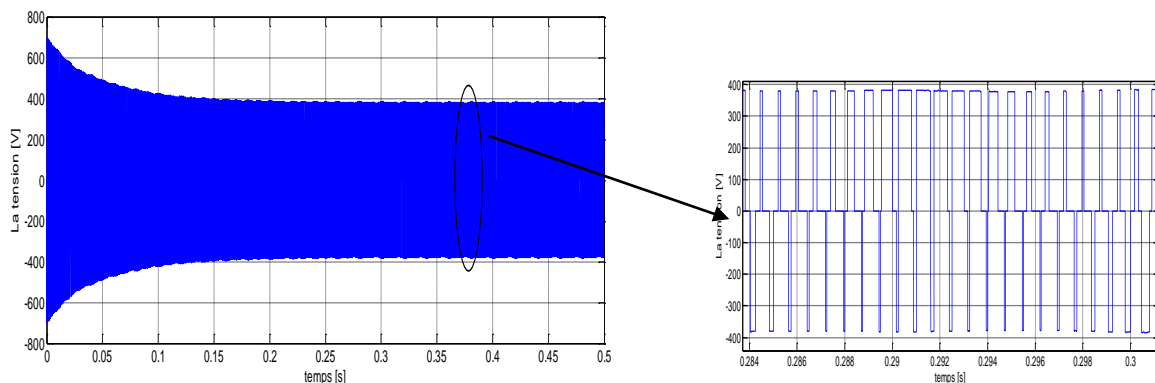


Figure IV. 20: La tension composée à la sortie de l'onduleur.

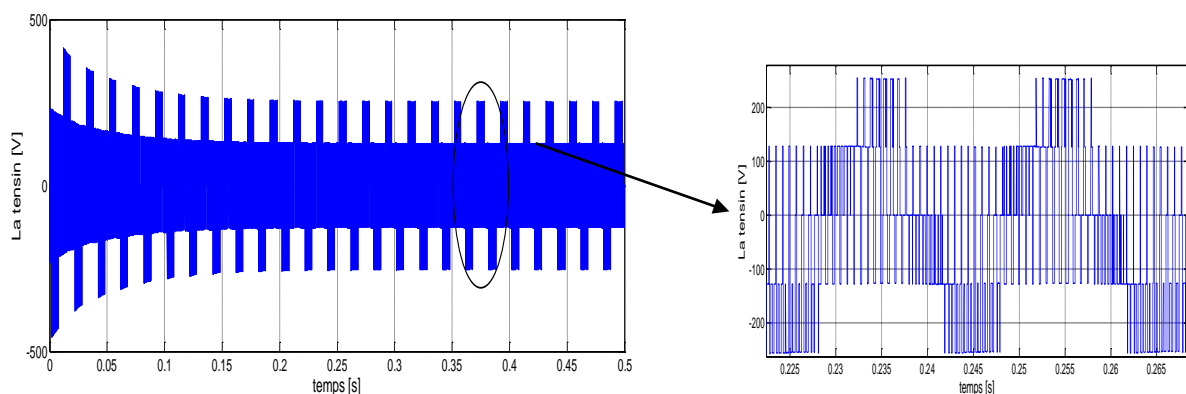
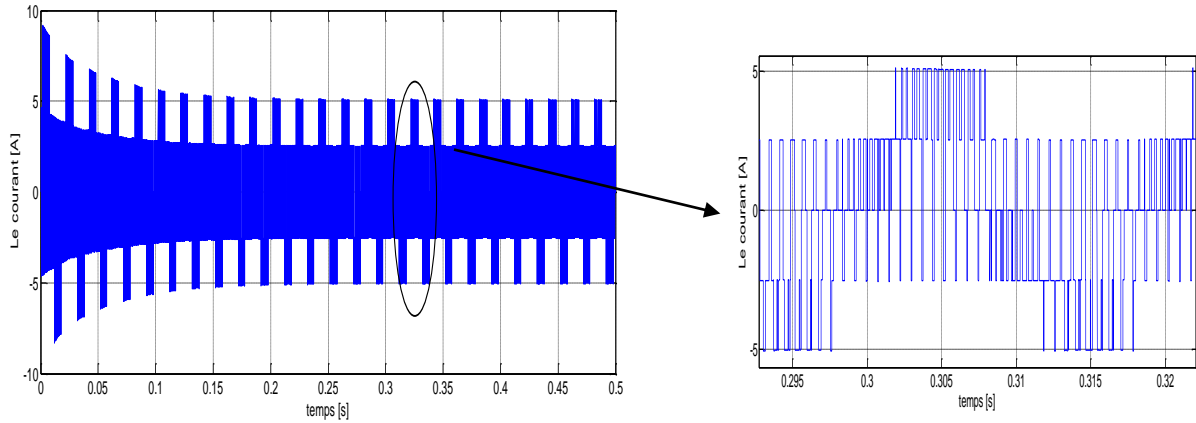


Figure III. 22 : La tension simple à la sortie de l'onduleur.

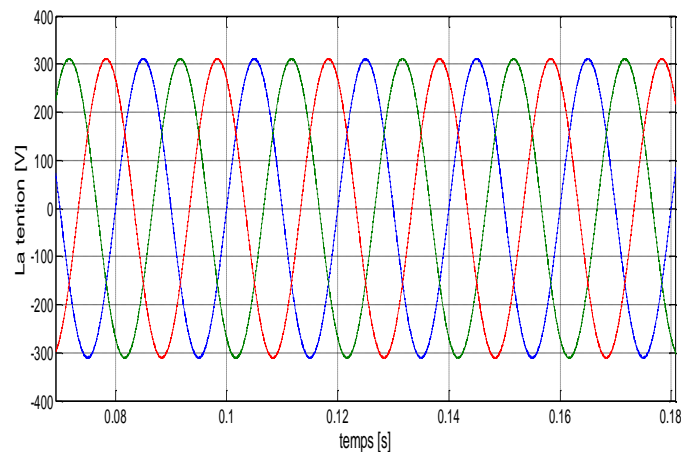


**Figure IV. 2 :** Le courant simple à la sortie de l'onduleur.

Le courant et la tension de sortie de l'onduleur ont une forme périodique qui s'approche d'une sinusoïde. Afin de le connecté au réseau une adaptation est nécessaire suivant les exigences et les normes en vigueur. Le taux d'harmonique doit être inférieur à 5%.

#### IV.4.1 L'interface de raccordement au réseau électrique

Pour pouvoir connecter l'onduleur de tension en parallèle avec le réseau et le faire travailler comme une source de courant, il est nécessaire d'utiliser un filtre de raccordement. La prise en charge des harmoniques s'impose. L'amélioration de la qualité d'énergie injectée au réseau est assuré par un filtre passe bas pour éliminer les harmoniques. Le filtre RL utilisé aux valeurs  $R = 2e - 3\Omega$   $L = 5e - 3H$ .



**Figure IV. 24:** Les tensions d' injecte vers réseau .

La figure III.21 présente les tensions injectées dans le réseau électrique et disponible à la sortie de l'onduleur via notre filtre. Les tensions ont 220V comme valeur efficace et une fréquence de 50Hz, ces deux grandeurs sont nécessaires pour faire le couplage entre les sources de tensions.



### IV.4.2 Système de contrôle

En mode connecté l'onduleur travail en boucle fermé. Le système de contrôle est conçu pour réguler le fonctionnement en toute sécurité de système dans les modes connectés au réseau. L'objectif du système de contrôle consiste à contrôler la tension et la fréquence. Dans ce type de contrôle, l'unité de source est obligée de fournir un courant de sortie constant. Le contrôle de la tension de sortie de l'onduleur exige une boucle d'asservissement fermée.

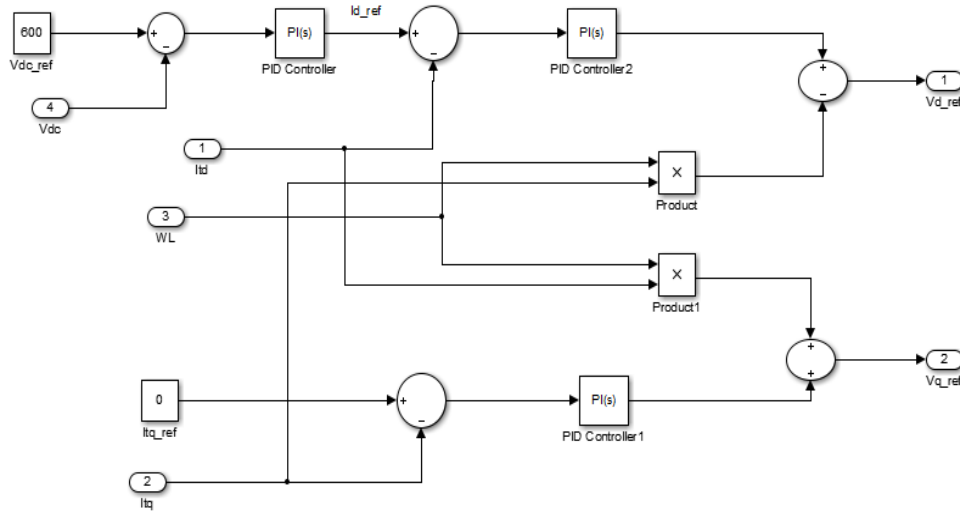


Figure IV.25 : Détails du bloc de commande.

De cette façon, les courants  $i_d$  et  $i_q$  peuvent être commandés indépendamment l'un de l'autre en agissant sur les entrées. Pour une réponse dynamique plus rapide et pour annuler l'erreur en régime permanent des régulateur de type PI sont utilisés

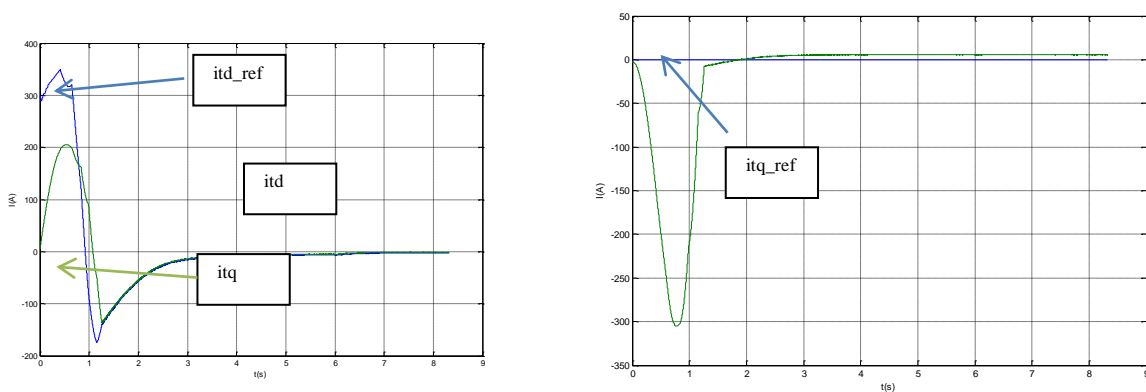


Figure IV.26 : les courants  $i_d$  et  $i_q$  régulateur et courants références  $itd\_ref$  et  $itq\_ref$

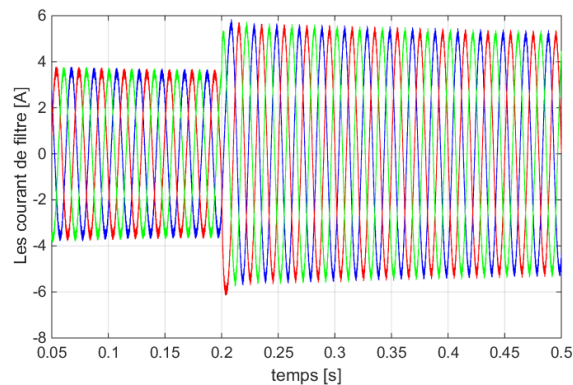
## IV.5 La PLL (Phase Locked Loop)

Diverses perturbations peuvent survenir sur le réseau électrique (creux de tension, saut de phase, harmoniques, déséquilibre), le système de synchronisation a pour objectif de reconstituer une information sur la composante directe de la tension fondamentale.

L'étude de la synchronisation de la commande par rapport à l'évolution des tensions du réseau est à base de la PLL triphasée, qui consiste à appliquer une transformation inverse de Park sur les tensions triphasées du réseau.

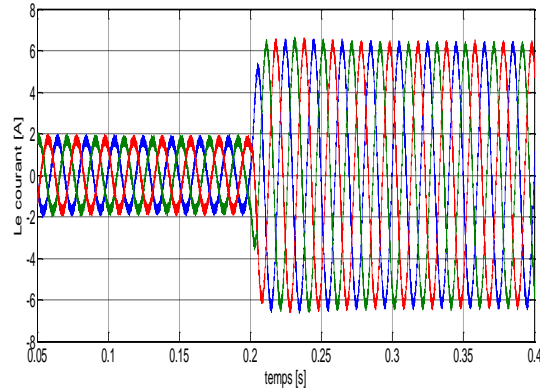
Pour construire la chaîne complète, on va raccorder les trois sous-systèmes à savoir le GPV, le hacheur (Boost) et l'onduleur commandé par la technique de contrôle des courants. Cette chaîne sera raccordée au réseau électrique pour assurer l'échange des puissances active et réactive produites par le générateur photovoltaïque.

La chaîne de conversion photovoltaïque est raccordée au réseau électrique, à son tour il alimente une charge de 3000 watt. A l'instant  $t=0.2$  s, on augmente la charge pour atteindre 6000 watt.



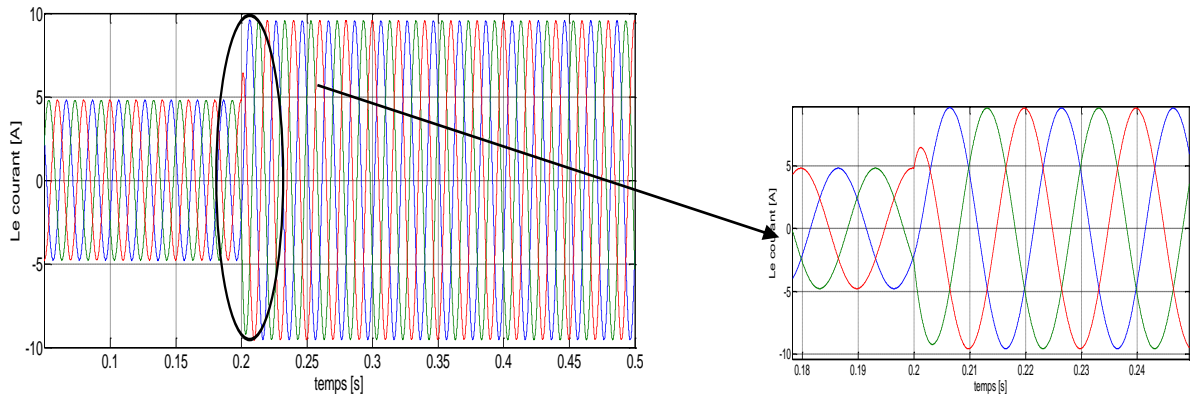
**Figure IV.27 :** Les courants de lignes à la sortie de l'onduleur..

Les courants de lignes à la sortie de l'onduleur sont représentés par la figure IV.27 On remarque que le générateur photovoltaïque délivre un courant de 2.8 A pour la première charge, et cette valeur augmente à 4.1A pour la deuxième charge qui nécessite une puissance importante.



**Figure IV.28 :** Les courants de réseau électrique.

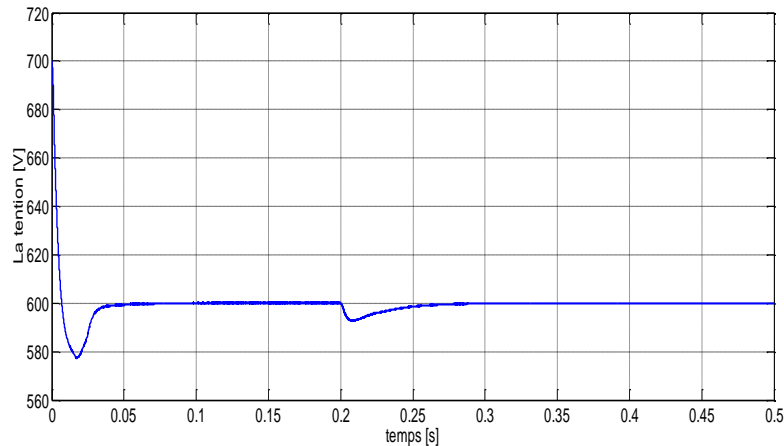
La figure IV.28 présente le courant débité par le réseau. Il est évident que l'augmentation de la puissance de charge après 0.2s oblige le réseau de produire plus de courant puisque de point de vue GPV on est limité par la MPPT.



**Figure IV.29 :** Les courants de charge.

La figure IV.29 présente le courant de charge. Il montre l'appel de courant après 0.2s suite à l'augmentation de la puissance de charge.

Par observation on peut conclure que le courant de charge est égal à la somme de courant débité par le générateur photovoltaïque et le courant de réseau, donc notre générateur photovoltaïque soulage le réseau électrique. De plus le taux d'harmonique reste inférieur aux exigences du réseau et qui est de 2%.



**Figure IV.30** : La tension Vdc.et Vc\_ref

## IV.6 : DISCUSSION

L'algorithme P&O est un algorithme classique et simple. En général, cet algorithme dépend fortement des conditions initiales et il présente des oscillations autour de la valeur optimale. L'inconvénient majeur de cet algorithme est son mauvais comportement suite à un changement brusque de l'éclairement (nuages).

L'algorithme INC semble une amélioration de l'algorithme P&O. En effet, il se comporte mieux lors d'un changement rapide des conditions météorologiques. Cependant, c'est un algorithme un plus complexe que le précédent.

Le tableau suivant résume les principales spécifications des différents algorithmes MPPT précédemment étudiés. Nous avons évalué et comparé ces algorithmes en termes de connaissance technique des paramètres du panneau PV, complexité, rapidité et précision

<b>Algorithmes MPPT</b>	<b>P&amp;O</b>	<b>INC</b>
<b>Identification des paramètres du panneau PV</b>	Non nécessaire	Non nécessaire
<b>Complexité</b>	Basse	Moyenne
<b>Vit. Convergence</b>	Moyenne	Moyenne
<b>Précision</b>	95 %	98 %

**TableauIV.1** : les principales spécifications des différents algorithmes MPPT

## IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons modélisé et simulé tous les équipements représentant le système photovoltaïque connecté au réseau électrique, tel que, le générateur photovoltaïque, le hacheur survolteur, l'onduleur et la charge.

On a pu constater que la structure globale du système PV raccordé au réseau électrique est stable. D'après les résultats obtenus de simulation on remarque que le convertisseur DC-DC et la commande MPPT effectuent leurs rôles d'attendre la puissance maximale de générateur PV. Le hacheur et la commande MLI a le rôle de fournir une allure sinusoïdale ou niveau de la sortie de l'onduleur.

Les exigences de raccordement sont assurées par le système de régulation en plus du PLL.