الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Sientific Research

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة
National Higher School of Advanced Technologies

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
MASTER

-Filière-
ELECTROTECHNIQUE

-Spécialité-
TRACTION ELECTRIQUE

-Thème-

SUIVIT DU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE

Réalisé par
Fedoua REMACI

Soutenu le 07/07/2025

Membres du jury

Mohamed AISSIOU	ENSTA	MCA	Président
Amar HAMACHE	ENSTA	MCA	Encadrant
Tarek CHIHANI	ENSTA	MCB	Examinateur

2024/2025

Remerciement

Je profite de cette occasion pour adresser mes sincères remerciements à mon encadrant M. Amar HAMACHE qui m'a aidé, suivie, encouragé et pour ses conseils précieux. Je vous suis grandement reconnaissante.

J'exprime mon plus vif remerciement à mes encadrants de stage M. MANSOURI et M. AOUDIA qui ont accepté de me prendre en charge et qui n'ont pas hésité à me fournir le maximum d'informations pour réaliser ce travail. Leurs qualités humaines et scientifiques sont pour moi un exemple et une référence, qu'ils trouvent à cette occasion l'expression de ma profonde gratitude et sympathie.

Je remercie M. AISSIOU, chef de département Electrotechnique de l'École Nationale Supérieur des Technologies Avancées, pour sa gestion sage et les bonnes conditions d'études qu'il nous a procurées.

Je remercie les membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de participer au jugement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail aux être les plus cher à mon cœur……

A ma source de tendresse, ***yemma azizen***

A mon symbole de la vie, ***vava hebbou***

A mon bras droit, ***mon adorable sœur***

A mon enfant que je n'ai pas eu, ***mon cher petit frère***

Qu'ALLAH vous garde !!

A mes amis, Merci pour votre présence, vos encouragements, vos rires et votre soutien sans faille.
Vous avez rendu ce parcours plus léger, plus joyeux et bien plus humain.

A ma copine de chambre Chaima, tu as supporté mes réveils trop tôt, mes crises de stress, mes fous rires et mes nuits sans sommeil…
Merci pour toutes ces discussions interminables, ces repas improvisés, et merci d'avoir été plus qu'une copine de chambre : une vraie alliée dans cette bataille universitaire !

Fedoua

مخلص:

يتناول هذا العمل المفهوم الحاسم لـ تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT) في منشآت الطاقة الشمسية الكهروضوئية. يُعد MPPTتقنية أساسية تتيح تحسين إنتاج الطاقة من الألواح الشمسية من خلال ضمان عملها دائمًا عند أعلى نقطة قدرة لها. هذه النقطة، المعروفة باسم نقطة القدرة القصوى(MPP) ، ليست ثابتة؛ بل تتغير باستمرار اعتمادًا على ظروف الإضاءة الشمسية ودرجة الحرارة. يستعرض هذا المستند المبادئ الأساسية لـMPPT ، ويستكشف الخوارزميات الأكثر استخدامًا، مثل "الاضطراب والمراقبة" و "التوصيل المتزايد"، ويؤكد على الأهمية الحيوية لهذه التكنولوجيا في زيادة كفاءة وربحية أنظمة الطاقة الكهروضوئية إلى أقصى حد.

كلمات مفتاحية: الطاقة الكهروضوئية، الألواح الشمسية، تحسين الطاقة، محول تيار مستمر، خوارزميات.

Résumé :

Ce travail aborde le concept crucial du Suivi du Point de Puissance Maximum (MPPT) dans les installations photovoltaïques. Le MPPT est une technique essentielle qui permet d'optimiser la production d'énergie des panneaux solaires en s'assurant qu'ils fonctionnent toujours à leur point de puissance le plus élevé. Ce point, connu sous le nom de Point de Puissance Maximum (MPP), n'est pas fixe ; il varie constamment en fonction des conditions d'éclairement solaire et de température. Le document détaille les principes fondamentaux du MPPT, explore les algorithmes les plus couramment utilisés, tels que "Perturb and Observe" et "Incrémental Conductance", et souligne l'importance capitale de cette technologie pour maximiser l'efficacité et la rentabilité des systèmes photovoltaïques.

Mots clé : Photovoltaïque, Panneaux solaires, Optimisation énergétique, Convertisseur DC-DC, Algorithmes MPPT.

Abstract:

This work addresses the crucial concept of Maximum Power Point Tracking (MPPT) in photovoltaic installations. MPPT is an essential technique that optimizes the energy production of solar panels by ensuring they always operate at their highest power output. This point, known as the Maximum Power Point (MPP), is not static; it constantly varies with solar irradiance and temperature conditions. The document details the fundamental principles of MPPT, explores the most commonly used algorithms, such as "Perturb and Observe" and "Incremental Conductance," and emphasizes the vital importance of this technology in maximizing the efficiency and profitability of photovoltaic systems.

Key words: Photovoltaic, Solar panels, Energy optimization, DC-DC converter, MPPT algorithms.

Table de matière

Introduction générale 9

Chapitre 01 : Commande MPPT 11
1 Introduction 11
2 Commande MPPT 11
3 Les algorithme MPPT 11
3.1 Algorithme Perturbation & Observation (P&O) 11
3.2 Algorithme MPPT de l'incrémentation de la Conductance (INC) 13
Conclusion générale 17
Bibliographie 18

Liste des figures

Figure 1. 1: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT.[3]..... 11
Figure 1. 2: Recherche du PPM par la méthode P&O. 12
Figure 1. 3: Organigramme de la technique P&O..... 13
Figure 1. 4: Recherche du PPM par la méthode INC..... 14
Figure 1. 5: Organigramme de la méthode INC..... 15

Liste des abréviations

GPV : Générateur photovoltaïque.

PV : Photovoltaïque.

PPM : Point de Puissance Maximale.

MPPT : Maximum power point tracking.

DC : Courant continue.

DC/DC : Continue / Continue.

DC/AC : Continue / Alternatif.

P&O : Perturbation et Observation.

INC : Incrémentation de conductance.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'énergie solaire photovoltaïque est devenue une source d'énergie renouvelable incontournable, offrant une alternative propre et durable aux combustibles fossiles. Au cœur de l'efficacité de toute installation photovoltaïque réside la capacité à extraire le maximum d'énergie disponible des panneaux solaires, indépendamment des variations des conditions environnementales. C'est précisément l'objectif du Suivi du Point de Puissance Maximum, ou MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Les panneaux photovoltaïques possèdent une caractéristique de puissance-tension non linéaire et un point de puissance maximale (MPP) unique. Ce point optimal, où le panneau délivre sa puissance la plus élevée, n'est cependant pas fixe ; il varie constamment en fonction de l'éclairement solaire et de la température des cellules. Une simple connexion directe d'un panneau à une charge sans optimisation entraînerait inévitablement une sous-exploitation de son potentiel énergétique.

Le rôle du MPPT est donc important. Il s'agit d'une technique intelligente qui permet aux systèmes photovoltaïques de s'adapter dynamiquement à ces changements. Grâce à des algorithmes avancés, un contrôleur MPPT ajuste en permanence le point de fonctionnement du panneau pour qu'il coïncide avec son MPP, garantissant ainsi une production d'énergie optimale. Cette introduction explorera les principes fondamentaux du MPPT, les différents algorithmes mis en œuvre pour son fonctionnement, et son impact significatif sur la performance et la rentabilité des installations solaires.

Chapitre 01 :
Commande MPPT

Chapitre 01 : Commande MPPT

1 Introduction

Le "suivi du point de puissance maximum" ou "Maximum Power Point Tracking (MPPT)" est une technique essentielle dans les installations photovoltaïques. Il s'agit d'un mécanisme qui permet d'extraire le maximum de puissance disponible des panneaux solaires, quelles que soient les conditions d'ensoleillement et de température.

2 Commande MPPT

Comme le nom indique, MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande qui permet de la poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque. Elle est généralement associée à un étage intermédiaire de réglage qui permet à un générateur photovoltaïque de produire en continu le maximum de sa puissance en agissant sur le rapport cyclique. La commande du convertisseur amène le système au point de fonctionnement maximum (Vmpp, Impp) dans toutes les conditions météorologiques (température et éclairement). Par conséquent, un contrôleur (MPPT) permet le contrôle du convertisseur statique qui relie la charge au module photovoltaïque afin de fournir à la charge une puissance maximale à tout moment. [2] Le système étudié est constitué par le GPV, le convertisseur DC\DC et un groupe motopompe à la sortie du système. Le convertisseur DC\DC est commandé par un signal à modulation de largeur impulsion (PWM) avec une stratégie de recherche du point de puissance maximale MPPT.

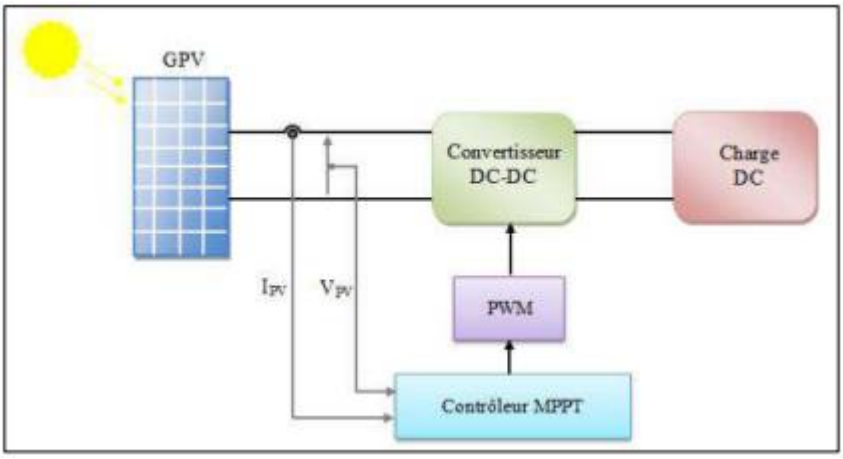


Figure 1. 1: *Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT.**[3]***

3 Les algorithme MPPT

Il existe plusieurs techniques de commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV [4]. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM est donnée dans cette partie :

3.1 Algorithme Perturbation & Observation (P&O)

L'algorithme (P&O) est largement utilisé dans la recherche MPPT car il est plus simple et nécessite moins de paramètres à mesurer. Son fonctionnement est basé sur la perturbation du système en augmentant ou diminuant (incrémentation ou décrémentation) du courant/tension

ou en agissant directement sur le convertisseur (DC-DC), et l'observation de l'impact de cette perturbation sur la puissance de sortie du module photovoltaïque. [4]

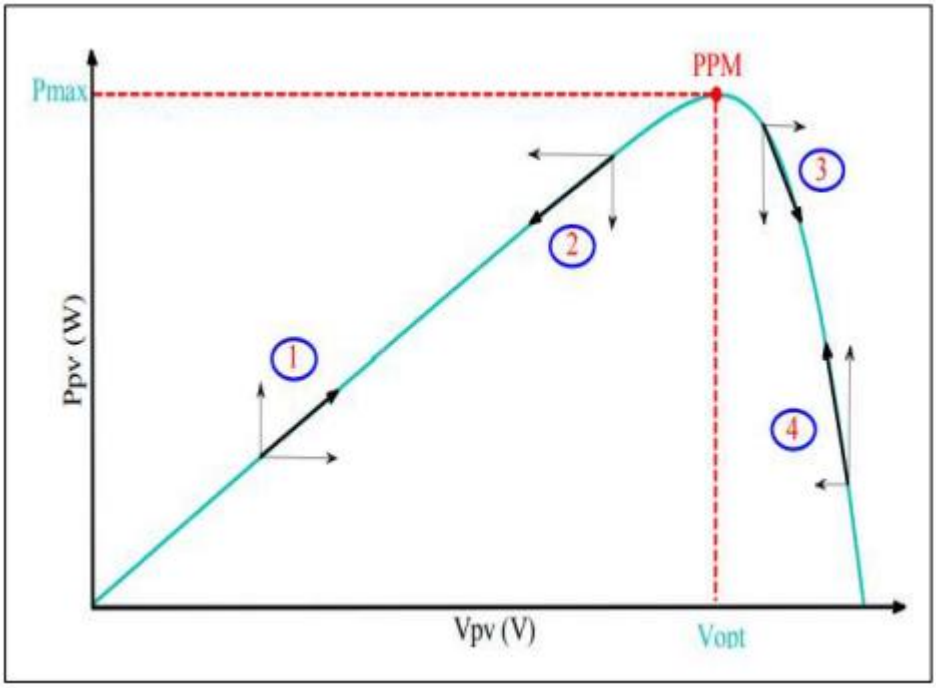


Figure 1. 2: *Recherche du PPM par la méthode P&O.*

Cette courbe montre que c'est la puissance augmente la perturbation sera continuer dans le même sens sinon la perturbation sera inversée : Si une augmentation brutale de l'ensoleillement est produite on aura une augmentation de la puissance du panneau, l'algorithme P&O réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui fait qu'il s'éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continue jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement, moment où il revient vers le vrai point de puissance maximale.

L'organigramme de la technique MPPT basée sur P&O est représenté sur la figure 1.3

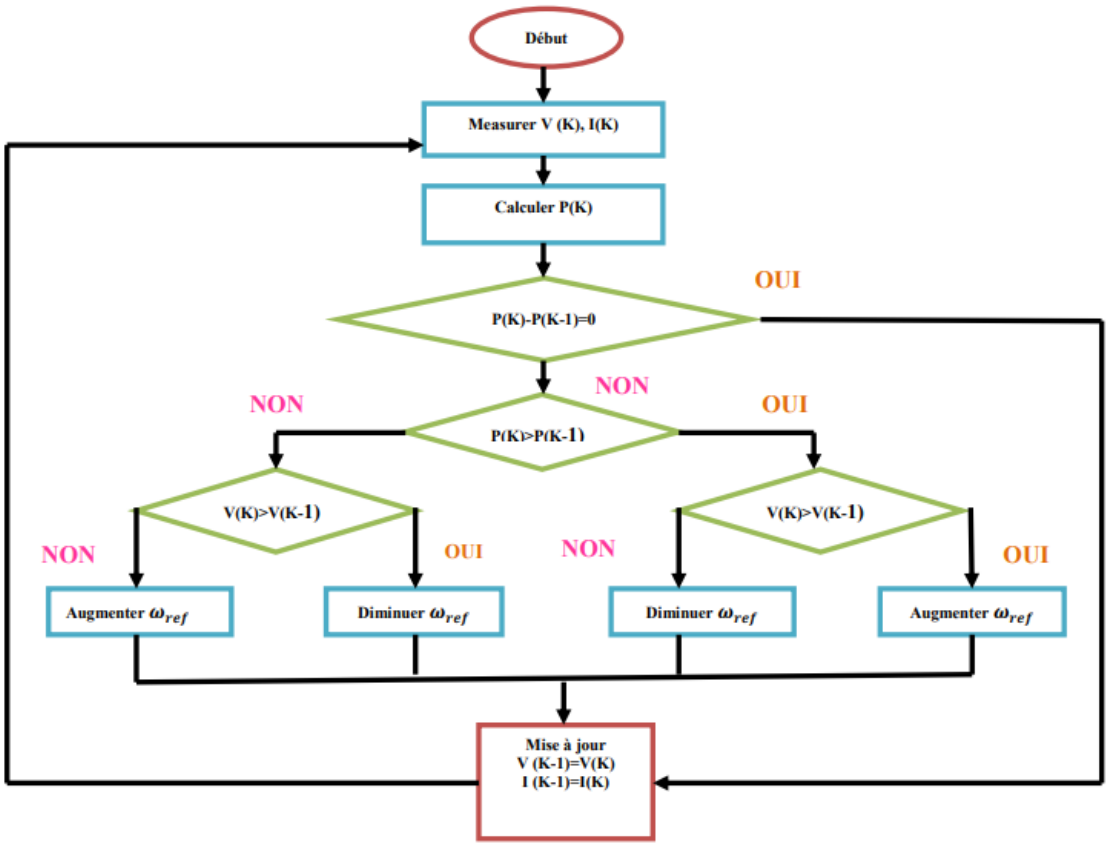


Figure 1. 3: *Organigramme de la technique P&O.*

Le principe de la méthode P&O consiste à perturber la tension VPV du générateur d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et s'analyser le comportement de la variation de puissance PPV qui en résulte.

3.2 Algorithme MPPT de l'incrémentation de la Conductance (INC)

Cet algorithme s'intéresse directement à la dérivation de la puissance du module photovoltaïque par rapport à la tension. La conductance est une grandeur physique relativement connue : c'est le rapport de l'intensité sur la tension ($\boldsymbol{G} = {}^{I_{PV}}/_{V_{PV}}$). La conductance incrémentielle est beaucoup plus rarement définie, il s'agit du quotient de la variation, entre deux instants, de l'intensité par celle de la tension ($\Delta G = dI_{PV}/dV_{PV}$). [1]

Cependant, l'algorithme à mettre en œuvre est généralement complexe et nécessite une puissance de calcul élevée, ce qui augmente le temps de contrôle du système. La puissance de sortie du champ photovoltaïque peut être spécifiée comme suit :

$$\begin{cases} P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} \\ \dfrac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = \dfrac{d(V_{PV} \times I_{PV})}{dV_{PV}} = I_{PV} + \left(V_{PV} \times \dfrac{dI_{PV}}{dV_{PV}}\right) \\ \dfrac{1}{V_{PV}} \times \dfrac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = \dfrac{I_{PV}}{V_{PV}} + \dfrac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \end{cases} \qquad (1.\ 1)$$

En définissant la conductance PV et la conductance incrémentielle, comme suit :

$$\begin{cases} G = \frac{I_{PV}}{V_{PV}} \\ \Delta G = -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \end{cases} \quad (1.2)$$

On obtient :

$$\frac{1}{V_{PV}} \times \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = G - \Delta G \quad (1.3)$$

$$G = \Delta G \rightarrow \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \rightarrow \frac{I_{PV}}{V_{PV}} = -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (1.4)$$

$$G > \Delta G \rightarrow \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \rightarrow \frac{I_{PV}}{V_{PV}} > -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (1.5)$$

$$G < \Delta G \rightarrow \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \rightarrow \frac{I_{PV}}{V_{PV}} < -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (1.6)$$

La méthode INC est basée sur la conductance incrémentielle et instantanée du module PV.

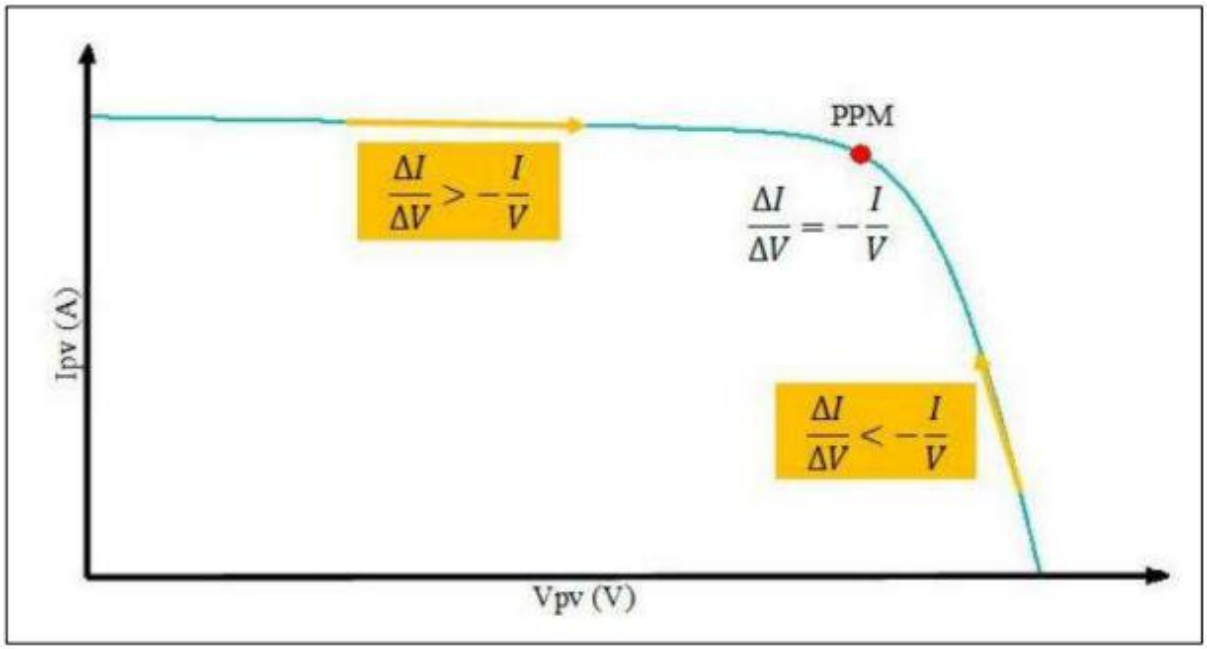


Figure 1. 4: *Recherche du PPM par la méthode INC.*

La figure 1.4 nous permet de déduire facilement les actions à faire dans les différents cas.

- Si $dP(k)/dV(k) > 0$ alors augmenter $V(k)$
- Si $dP(k)/dV(k) < 0$ alors diminuer $V(k)$

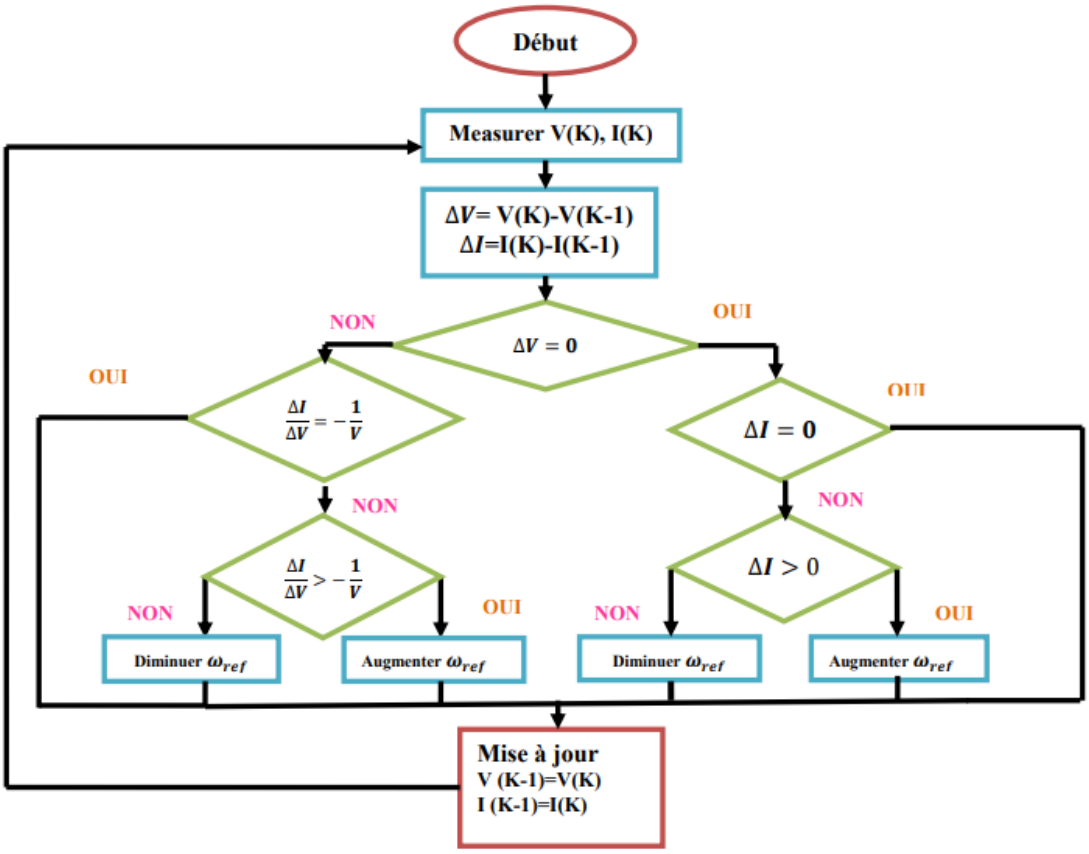


Figure 1. 5: *Organigramme de la méthode INC.*

Cet algorithme est une correction de l'algorithme P&O, puisqu'il est capable de calculer la direction dans laquelle doit se trouver la perturbation du point de fonctionnement pour atteindre le point MPP. Figure 1.5 : montre la structure de l'algorithme de conductance incrémentale. Si ΔV = 0 et ΔI > 0, alors l'éclairement a augmenté. Cela nécessite que l'algorithme augmente la tension de fonctionnement pour retrouver le MPP. Contrairement à ΔI

Conclusion générale

Conclusion générale

En somme, le Suivi du Point de Puissance Maximum (MPPT) n'est pas seulement une fonctionnalité additionnelle, mais bien un élément indispensable à la performance optimale de toute installation photovoltaïque. En permettant aux panneaux solaires de fonctionner constamment à leur point de puissance maximale, malgré les fluctuations inhérentes à l'éclairement solaire et à la température, le MPPT maximise la production d'énergie.

L'intégration d'algorithmes MPPT, qu'il s'agisse du simple et robuste Perturb and Observe ou de méthodes plus sophistiquées comme l'Incrémental Conductance, se traduit directement par une augmentation significative du rendement global des systèmes photovoltaïques. Cette optimisation énergétique est cruciale pour la rentabilité des investissements dans l'énergie solaire et pour son développement continu en tant que pilier de la transition énergétique.

Ainsi, le MPPT incarne l'ingénierie intelligente au service de l'efficacité durable, transformant la lumière du soleil en une source d'énergie toujours plus fiable et performante pour répondre aux besoins énergétiques actuels et futurs.

Bibliographie

[1] BITEUR Yousef et BEN CHEIKH Othman, « Étude et réalisation d'un système de poursuite du pointde puissance maximale en utilisant les réseaux de neurones artificiels », Mémoire master, Université Kasdi Merbah. Ouargla.2018.

[2] BAHRI Ahmed, ABDELKRIM Thameur, MORDJAOUI Mourad, BECAR Belgasem, BOURAGHDA Skander, « Etude comparative des algorithmes d'optimisation MPPT pour un système photovoltaïque », The national conference on Energy Systems, Environment, Plasma and Materials "ESEPM2020", MESTEL Laboratory, University of Ghardaia

[3] A. MEFLAH, « Modélisation et commande d'une chine de pompage photovoltaïque », Mémoire de Magistere, Université de Tlemcen, 2011

[4] BELKAID Abdelhakim, « Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome », these doctoratuniversité ferhat abbas - setif 1 2015