

CHAPITRE III

Techniques de poursuite du point de puissance maximale MPPT

III.1 Introduction

Les premières utilisations du MPPT remontent à 1968 dans le cadre d'applications spatiales ayant pour générateur électrique des panneaux photovoltaïques. Le développement du MPPT a constitué un thème techniquement attrayant, si bien que finalement, un grand nombre de procédures et techniques ont été développés. Elles varient en complexité, capteurs nécessaires, vitesse de convergence, coût, efficacité, matériel pour la réalisation, etc [M.A.CHE11].

Le terme MPPT ou Maximum Power Point Tracking ou Poursuite du Point de Puissance Maximale. Il s'agit, par un moyen (à trouver) [K.F, CH.N14], de venir se placer sur le point maximum de la caractéristique en puissance et de pouvoir y rester quelles que soient les variations de température, pression et composition de gaz ou autre.

Pour avoir la meilleure connexion entre le 'G à PC' une source non linéaire et une charge et produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système. En effet, lorsque le G à PC est connecté à une charge, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa caractéristique électrique $[I - V]$ avec celle de la charge. Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale [B.P08].

III.2 Principe de MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur à PC de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et pression), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{mpp} , I_{mpp}) [M.SLA11].

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la Figure III.1.

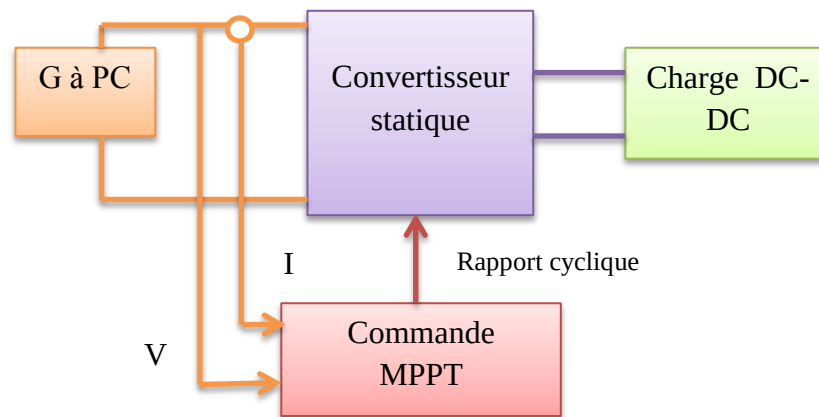


Figure III.1 Schéma de principe du convertisseur MPPT.

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir [H.F, R.A14].

Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

En résumé, le suivi du PPM. Réalisé au moyen d'une commande spécifique nommée MPPT agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le PPM du G à PC. Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du G à PC [H.F, R.A14].

III.3 Classification des Commandes MPPT

Il est possible de classier d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant du classier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [M.A.CHE11].

III.3.1 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

- **MPPT Indirect** : Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{sc} ou V_{oc}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du G à PC réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements des conditions ;
- **MPPT Direct** : Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du G à PC. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation.

La détermination de la valeur de la puissance du générateur PC, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du G à PC et pour ainsi placer le point de fonctionnement du G à PC le plus près possible du MPP.

III.3.2 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS

Ce type de commandes MPPT effectue une recherche du MPP selon l'évolution de la puissance fournie par le G à PC. La commande nécessite alors la mesure du courant et de la tension en

entrée du convertisseur. D'autres types de commandes MPPT sont basées sur la régulation du courant du G à PC, supposant que ce dernier soit une image proportionnelle à la puissance. Ceci permet de s'approcher le plus proche possible du courant optimal I_{opt} . Ce type de commande ayant besoin d'un seul capteur est plus facile à mettre en oeuvre et a un coût bas.

Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe des algorithmes basés sur les paramètres de sortie du CS. En effet, ce type utilise la tension et le courant de sortie du CS ou alors uniquement l'un des deux. Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de P_{max} est faite à travers le rendement du convertisseur. Plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, tous les systèmes avec un seul capteur sont imprécis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial.

III.4 Critères de Qualité d'une Commande MPPT

Pour savoir si un gain est apporté par l'utilisation d'une commande MPPT d'un type ou d'un autre, des critères de qualité sont utilisés. Dans un premier temps, la commande MPPT doit avoir un niveau de simplicité important favorisant une faible consommation et un coût raisonnable. De plus, concernant ses performances, la commande MPPT doit avoir un bon comportement en dynamique et en statique pour assurer une adaptation rapide aux changements. Elle doit aussi pouvoir piloter l'étage d'adaptation de telle sorte qu'en régime statique, le point de fonctionnement du G à PC soit le plus près possible du MPP dans n'importe quelle condition météorologique ou état de la charge alimentée. Aussi, la stabilité et la robustesse du système doit être assurée.

En résumé, l'utilisation d'un type de commande MPPT par rapport à une connexion directe doit apporter un gain énergétique et économique quantifiable. Il est important de préciser qu'il n'existe pas de standard international qui définisse comment il faut mesurer les performances d'une commande MPPT.

III.5 Les méthodes de poursuite de MPP

Il existe de nombreux algorithmes utilisés pour trouver le point de puissance maximale. Idéalement, le suivi de la puissance se fait automatiquement pour s'adapter aux conditions météorologiques variables [H.F, R.A14].

III.5.1 Méthodes à contre réaction de tension :

Dans ce cas on se repose sur la commande de la tension de fonctionnement, par la comparaison de cette tension avec une tension de référence. Cela génère une tension d'erreur qui fait varier le rapport cyclique de la commande PWM afin d'annuler cette erreur.

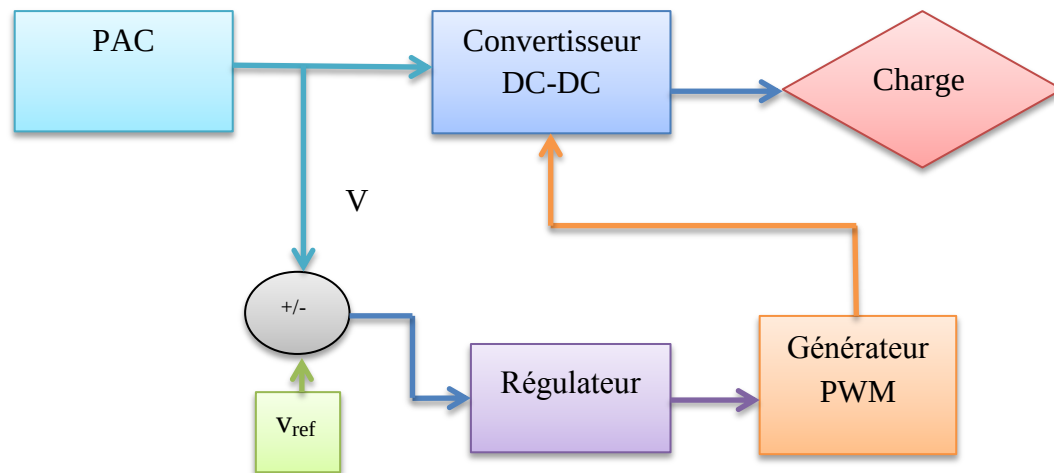


Figure III.2 Principe de la méthode à contre réaction de tension avec tension de référence.

On a trois types de cette méthode selon la nature de la tension de référence (fixe ou variable, interne ou externe).

- Référence fixe ;
- Référence en fonction de V_{oc} ;
- Tension de référence externe

III.5.2 Méthodes à contre réaction de courant :

Par analogie avec les méthodes de contre réaction de tension on a le schéma décrit par la figure III.3.

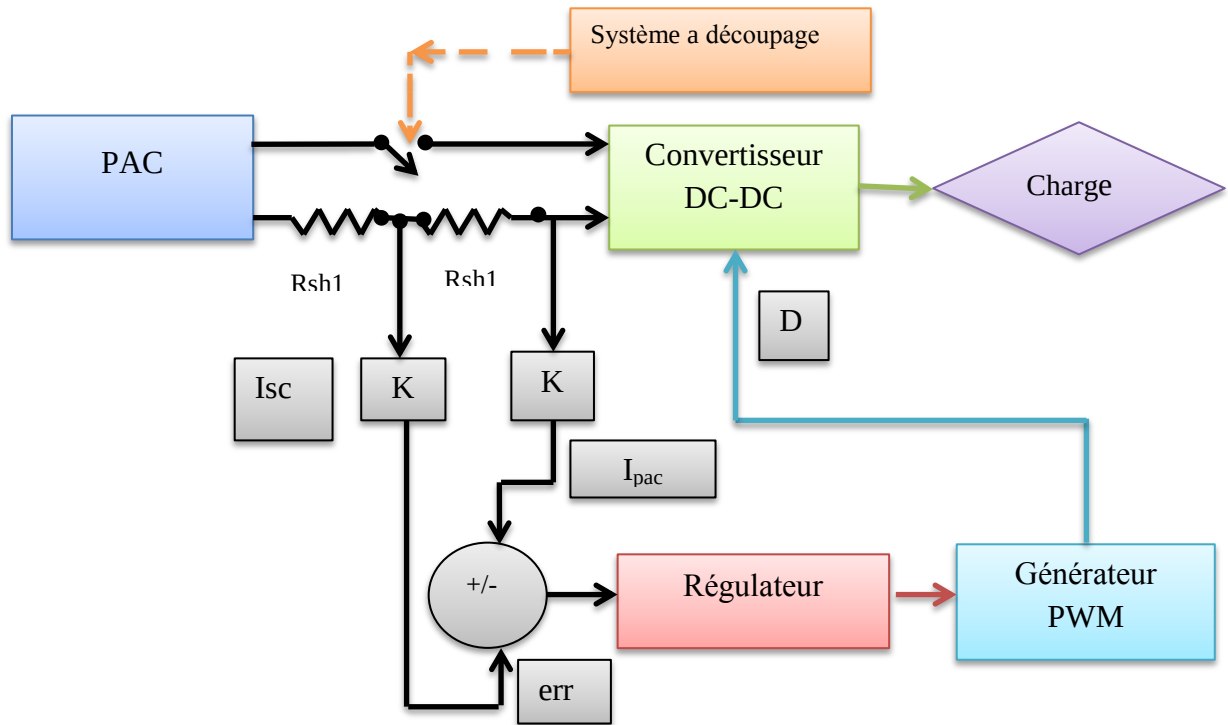


Figure III.3 Principe de la méthode MPPT à courant de référence en fonction de I_{sc} .

Ainsi nous avons présenté les méthodes suivantes :

- Référence en fonction du courant de court-circuit I_{CC} ;
- Référence externe.

III.5.3 Méthodes à contre réaction de puissance :

Les méthodes à contre réaction de puissance se basent sur des algorithmes de recherche itérative pour trouver le point de fonctionnement du panneau afin que la puissance générée soit maximale sans interruption de fonctionnement du système.

La puissance extraite du panneau est calculée à partir des mesures de courant I et de tension V du panneau et la multiplication de ces deux grandeurs [F.Sla11]. $P = V \times I$

III.6 Quelques Type D'algorithmes Dev Tracking

Dans la littérature plusieurs méthodes de Tracking ont été proposées, mais on cite les plus utilisées et qui coûtent moins chères [KH, CH.N14] :

- algorithmes Perturber et Observer (P & O). ;
- algorithmes Accroissement de la Conductibilité (INC : Incrémental Conductance) ;
- algorithmes Tension constante (CV : constant Voltage) ;
- algorithmes Capacité Parasite (PC : Parasite Capacitance) ;
- Les Commandes MPPT Basées Sur Le Principe De La Logique Floue.
-

Le rendement d'un module MPPT est défini par [D.P, M.E03] [L.V, G.J98] :

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_m(t) \cdot dt}{\int_0^t P_{\max}(t) \cdot dt} \quad (3.1)$$

Avec :

P_m : Puissance mesurée produite par le G à PC sous le contrôle MPPT.

$P_{\max}$: Puissance maximale qu'ils pouvaient produire sous les mêmes conditions.

III.6.1 algorithmes Perturber et Observer (P & O)

C'est l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (PPM) le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de la tension de référence, ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur (DC-DC), puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie en vue d'une éventuelle correction de ce rapport cyclique (D).

Si la valeur de la puissance actuelle du générateur est supérieure à la valeur précédente alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent.

L'organigramme de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O) est donné par la Figure III.4. [H.F, R.A14][K.H, CH.N14]

D : rapport cyclique.

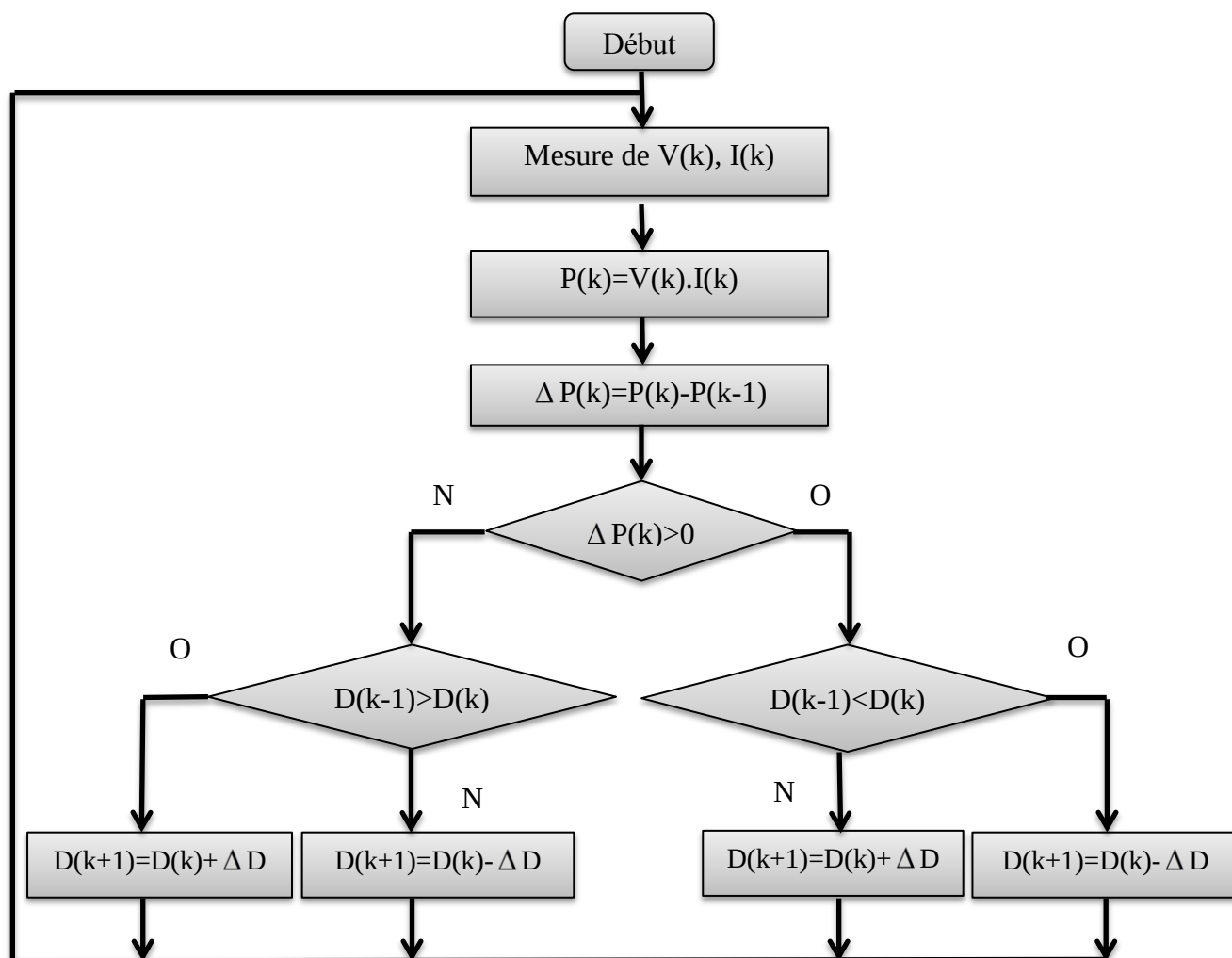


Figure III.4 Algorithme de perturbation et de l'observation (P et O).

III.6.2 algorithmes Accroissement de la Conductibilité (INC : Incremental Conductance)

L'algorithme par incrémentation de conductance se résulte en dérivant la puissance du panneau photovoltaïque par rapport à la tension et en mettant le résultat égal à zéro. Ceci peut être décrit par les équations suivantes :

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{1}{V} \quad (3.3)$$

On définit la conductance de la source et incrémentation de la conductance puisque la tension V du panneau est toujours positive, la relation (3.2) explique que le point de puissance maximale MPP est atteint si la conductance de la source égale incrémentation de la conductance de la source avec un signe moins, et qu'elle est à gauche de ce point lorsque la conductance est supérieure il l'incrémentale conductance et vice-versa, comme suit:

$$\frac{dP}{dV} > 0 \text{ Si } \frac{1}{V} > -\frac{dI}{dV} \quad (3.4)$$

$$\frac{dP}{dV} = 0 \text{ Si } \frac{1}{V} = -\frac{dI}{dV} \quad (3.5)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \text{ Si } \frac{1}{V} < -\frac{dI}{dV} \quad (3.6)$$

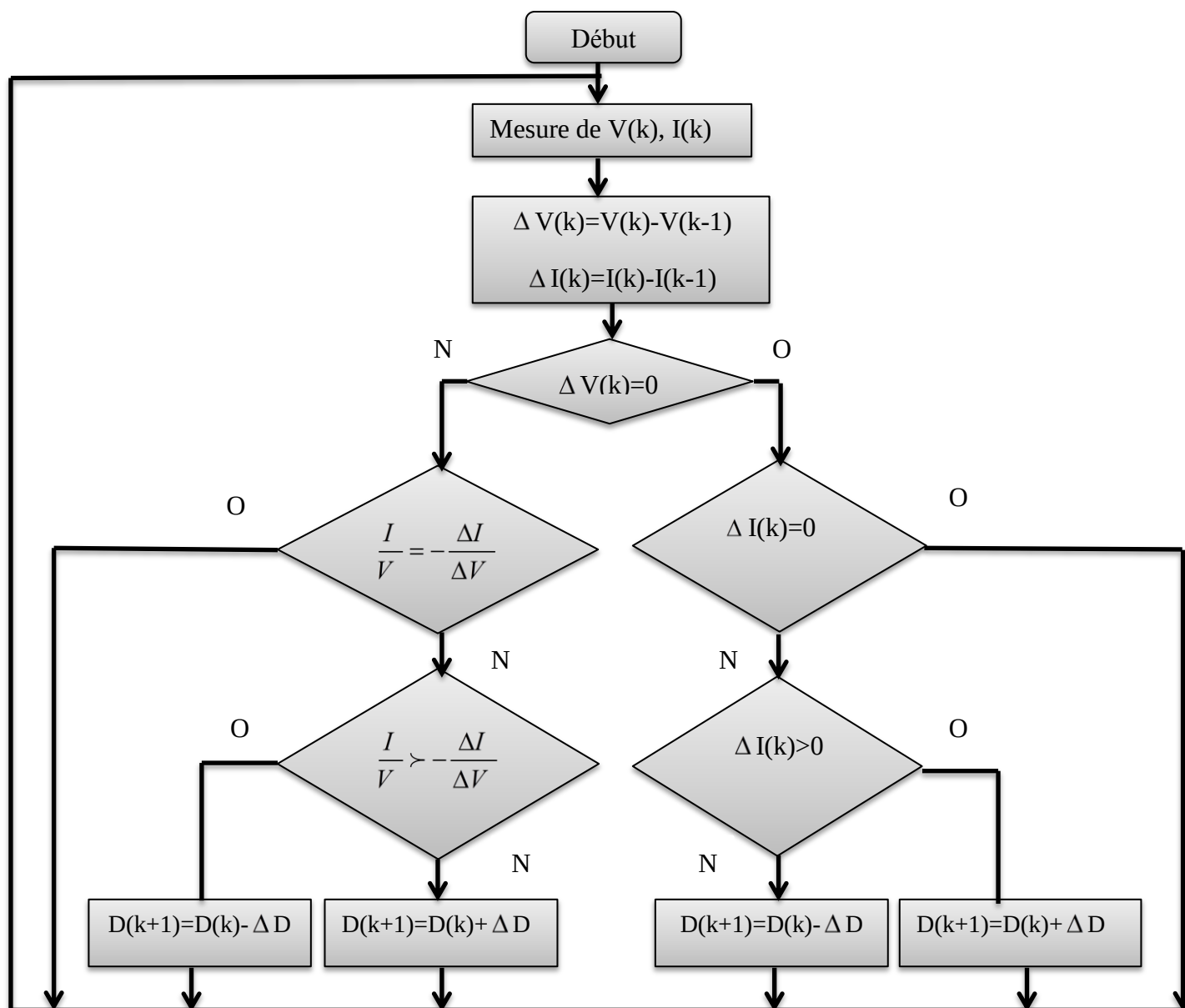


Figure III.5 Algorithme incrémental conductance.

III.7 Autres méthodes

Il existe dans la littérature d'autres algorithmes MPPT plus complexes qui font parfois appel à des techniques nouvelles. On peut citer [M.A.CHE11]:

- les algorithmes basés sur la logique floue ;
- les algorithmes à base de réseau de neurones ;

- les algorithmes d'identification en temps réel du MPP ;
- Dans le cas où la charge est une batterie, il existe un algorithme qui vise à maximiser uniquement le courant de charge puisque la tension en sortie est constante. Cet algorithme fait ainsi appel à un seul capteur ce qui réduit considérablement le coût ;
- l'algorithme de la capacité parasite (Parasitique Capacitance) ;
- la méthode de l'oscillation forcée.

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié la commande MPPT des convertisseurs DC-DC pour rechercher le point où la puissance du générateur est maximale, sous différentes conditions de fonctionnement. On a étudié quelques méthodes MPPT basées sur contre réaction de puissance, comme l'algorithme d'incrément de l'inductance et méthode de perturbation et observation.