

# وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA  
UNIVERSITY



جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-  
ANNABA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département d'électrotechnique

**THESE**

*Présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat*

*Spécialité : Electrotechnique*

*Option Réseaux Électriques*

Thème

---

**Etude D'un Système De Production Photovoltaïque.  
Application Au Réseau De Distribution Basse Tension**

---

*Par*

**MAHFOUDI. NACER**

**Devant le jury :**

<b>PRESIDENT</b>	<b>BOUNAYA.KAMEL</b>	<b>PROFESSEUR</b>	<b>UNIV</b>	<b>GUELMA</b>
<b>RAPPORTEUR</b>	<b>LABAR.HOCINE</b>	<b>PROFESSEUR</b>	<b>UNIV</b>	<b>ANNABA</b>
<b>EXAMINATEURS</b>	<b>LEMZADMI.AHCENE</b>	<b>PROFESSEUR</b>	<b>UNIV</b>	<b>GUELMA</b>
	<b>AZZAG.ELBAHI</b>	<b>MCA</b>	<b>UNIV</b>	<b>ANNABA</b>
	<b>MESBAH.TAREK</b>	<b>MCA</b>	<b>UNIV</b>	<b>ANNABA</b>
	<b>SOUFL.YOUCEF</b>	<b>MCA</b>	<b>UNIV</b>	<b>TEBESSA</b>

---

## REMERCIEMENTS

Je remercie *ALLAH* le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Je tiens à remercier *Mr LABAR, HOCINE*, professeur à l'université badji moghtar, Annaba, pour avoir encadré cette thèse, pour le soutien sans cesse qu'il a bien voulu m'accorder tout au long de ce travail. Je le remercie aussi, pour la façon dont il a su me mettre en confiance pendant les moments difficiles, pour ces remarques constructives, et les encouragements qu'il m'a prodigué pendant toute la durée de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères sont adressés à monsieur *BOUNAYA.KAMEL*, professeur de l'université de Guelma, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury de ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères sont adressés à monsieur, *LEMZADMI.AHACENE* professeur de l'université de, Guelma pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en me faisant l'honneur de participer à ce jury.

Mes vifs remerciements vont aussi à monsieur *AZZAG.ELBAHI*, maître de conférences au département 'électrotechnique de l'université de Annaba, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en me faisant l'honneur de participer à ce jury.

Mes remerciements les plus sincères sont adressés à monsieur, *MESBAH.TAREK*, maître de conférences au département 'électrotechnique de l'université de Annaba, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en me faisant l'honneur de participer à ce jury.

Je suis très reconnaissant également à monsieur *SOUFI.YOUCEF* maître de conférences de l'université de Tébessa, pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail en acceptant de siéger dans ce jury.

## ملخص

النظام الإنتاجي للطاقة الكهربائية اللامركزية يكون عموما متصل بالشبكة الكهربائية في حالة عدم تخزين ، و يمكن إن يكون معزول عن الشبكة الكهربائية في حالة توفر نظام لتخزين الطاقة ، و لكن في هذه الحالة يكون النظام مكلفا من الناحية الاقتصادية وفي هذا السياق من أجل تخفيض الكلفة و تسيير ملائم للطاقة عن طريق التصميم الأمثل للنظام، اخترنا نظام سهلا دقيقا و دون استعمال تخزين مخصص للاستعمال في أماكن صغيرة الحجم.

بعد التطرق لمختلف أنماط تكنولوجيا الألواح الشمسية، اهتمنا بالنوع النظري ب ثنائي القطب واحدة، الخصائص الأساسية في مختلف درجات الإنارة و الحرارة تمت محاكاتها باستعمال برنامج Matlab، بحيث استنتجنا إن هذه العوامل البيئية (الإضاءة، الحرارة، العوائق الجغرافية، الغبار... الخ) تؤثر على مردود تحويل الطاقة الشمسية. قمنا أيضا بدراسة سلسلة تحويل باستعمال GPV، الذي يتكون من مقطع (رافع- خافض) الذي يلعب دور واسطة بين منتج الطاقة و الحمولة ، من أجل تحويل أكبر قدر ممكن من الطاقة ، و بما أن الحمولة مغذاة بتيار متناوب ، قمنا باستعمال موج ثلاثي الطور من نوع NPC ذو ثلاث مستويات بالتحكم MLI من أجل التحصل على كمون ثلاثي الطور الأقرب إلى الشكل الحبيبي. وبما إن الموج يقوم بإعطاء كمون مقطع، إذن نقوم بفترة من أجل تخفيض مستوى متجانس THD. إذ في الأخير نتحصل على كمون يمكن استعماله، كما يمكن إيصاله بالشبكة الكهربائية للتوزيع المنخفض الجهد. و قمنا باختيار عينة حقيقية من الشبكة الكهربائية منخفضة الجهد التي تحتوي على انخفاض في التوتر ، و درسنا مدى تأثير استعمال الطاقة الشمسية على معايير هذه الشبكة . مع جعل الخصائص التقنية للشبكة (التوتر، التيار) في الحدود المعمول بها و المقبولة.

الكلمات المفتاحية : الإنتاج اللامركزي – سلسلة تحويل الطاقة الكهروضوئية- موج ذو مستويات متعددة- مقطع (رافع – خافض) – انخفاض مستوى الجهد – تعويض الطاقة .

### Abstract

Photovoltaic solution either standalone or connected to the electrical network can contribute significantly to the energy balance, from an economic point, this solution is expensive, despite the downward trend in prices for solar cells, It is in this goal of reducing costs by optimal sizing of the system and proper energy management we chose photovoltaic energy conversion system, without storage system, with realistic weather sizing data from a site as we have seen it is the same production site, and this from a history of insolation and temperature of the recent years (2010-2012) to ensure that the correlation function (measurement site / production site) is identified.

After studying the various concepts of technology solar cells we are interested in the theoretical model commonly used by most researchers to model a diode, the main characteristics under different illumination and temperature were developed by simulation in Matlab environment, these highly influential on the performance of energy conversion. So we developed the study of general model offered with all these elements of conversion, which is incorporated herein by a GPV, an adaptation stage formed by a chopper (Buck - Boost), Three-phase inverter NPC type three-level PWM control with the aim of having an output voltage closest to the sinusoid than following the conventional inverter, to provide consumers with quality and continuity of service. We only saw the inverter delivers a modulated voltage, which is why we proposed also improving the system, by using a filter (LC) for reducing harmonic distortion (THD) we obtain the output of this device usable voltage for standalone network and can be injected into the public low voltage distribution. An economic analysis was made for our production system with and without grid. We took a real case of running a network that BT has voltage drops to these ends, customers connected to this position are underserved, especially when the demand for electricity increases. Subsequently, we studied the impact of the connection of photovoltaic energy on the parameters of the network.

---

**Keywords:** photovoltaic converter system ;multi levels NPC inverter; voltage drop,energy compensation.

### Résumé :

La solution photovoltaïque que ce soit autonome ou connecté au réseau électrique peut contribuer de manière significative au bilan énergétique ,d'un point de vue économique, cette solution reste couteuse ,malgré la tendance de baisse des prix des cellules solaires , c'est dont cet objectif de diminution du coût par un dimensionnement optimal du système et une gestion adéquate de l'énergie que nous avons choisi un système de conversion d'énergie photovoltaïque, sans système de stockage , avec des données de dimensionnements météorologiques réalistes à partir d'un site de mesure que nous l'avons considéré c'est le même site de production, et cela à partir d'un historique d'ensoleillements et de températures des dernières années (2010-2012) afin de s'assurer que la fonction de corrélation (site de mesure /site de production) est bien identifier . Après l'étude des différents concepts de la technologie des cellules solaire ne nous sommes intéressés au modèle théorique communément utilisé par la majorité des chercheurs modèle à une diode, les caractéristiques principales sous différents éclairagements et températures ont été développés par simulation dans l'environnement matlab, ces derniers influents fortement sur le rendement de conversion d'énergie. Ainsi nous avons développés l'étude du modèle générale proposés avec tous ces éléments de conversion ,qui y est constituée par ,un GPV, un étage d'adaptation formé par un hacheur (dévolteur –survolteur) ,un onduleur triphasés type NPC à trois niveaux à commande MLI dont le but d'avoir une tension de sortie plus proche de la sinusoïde que celle issue de l'onduleur classique , afin d'assurer au consommateur une qualité et continuité de service . On n'a vu que L'onduleur délivre une tension modulée, c'est pourquoi nous avons proposé aussi l'amélioration du système, par l'utilisation d'un filtre (L-C) pour réduire le taux d'harmonique (THD), on obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pour un réseau autonome et pouvant être injectée dans le réseau public de distribution basse tension. Une analyse économique à été faite pour notre système de production avec et sans réseau

## Résumé

---

électrique. Nous avons pris un cas réelle de fonctionnement d'un réseau BT qui présente des chutes de tension à ces extrémités, les clients raccordés à ce poste sont mal desservis, surtout lorsque la demande en électricité augmente .Par la suite, nous avons étudié l'impact de la connexion de l'énergie photovoltaïque sur les paramètres de ce réseau.

**Mots Clés :** Chaîne de conversion photovoltaïque, onduleur multi niveaux, NPC, convertisseurs, chute de tension, compensation d'énergie.

### NOTATIONS

- $M_s$  ( $w \cdot m^{-2}$ ) : Emittance énergétique.
- $T$  (K) : Température absolue.
- $K$  ( $j \cdot k^{-1}$ ) : Constante de Boltzmann  $K=1,38 \cdot 10^{-23} j \cdot k^{-1}$ .
- $C$  (m.s) : Vitesse de la lumière  $C=3 \cdot 10^8$  m/s.
- $h$  (J.s) : Constante de Planck :  $h=6,6210^{-34}$  J.S.
- $\varphi_s$  (w) : Flux solaire.
- $D_{TS}$  (km) : Distance moyenne terre –soleil.
- $E_{SC}$  ( $w \cdot m^2$ ) : Flux d'énergie incident par unité de temps au niveau de la terre.
- $P$  : Quantité de mouvement.
- $m_e$  : Masse de l'électron.
- $N_C$  : Densité d'états de la bande de conduction.
- $N_V$  : Densité d'états de la bande de valence.
- $E_G$  : Largeur du gap, de l'ordre de 1 ev.
- $\lambda$  (m) : Longueur d'onde (souvent exprimée en micromètre).
- $\nu$  (Hz) : Fréquence.
- $T$  : Période de hachage (de fonctionnement).
- $\alpha$  : Rapport cyclique (duty cycle).
- $N_{OCT}$  : Normal operating cell température.
- $E_P$  : Energie journalière fournie par le module (Wh).
- $P_M$  : Puissance du module dans les conditions désirées (W).
- IMG : Irradiation moyenne journalière ( $KWh/m^2$ ).
- $P$  : Facteur de correction global.



- $\eta_{\text{OND}}$  : Rendement de l'onduleur.
- $\eta_{\text{HAC}}$  : Rendement du hacheur.
- ECH : Energie journalière consommée par la charge (kWh).
- $S_M$  : Surface d'un module.
- $I_{\text{ph}}$  : Photo courant.
- $q$  : Charge de l'électron.
- $I_{\text{CC}_{N_s}}$  : La somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série.
- $V_{\text{OC}_{N_s}}$  : Courant de court-circuit de  $N_s$  cellules en série.
- $I_{\text{CC}_{N_p}}$  : La somme des courants de court-circuit de  $N_p$  cellules en parallèle.
- $V_{\text{OC}_{N_p}}$  : Tension du circuit ouvert de  $N_p$  cellules en parallèle.
- $V_{\text{opt}}$  : Tension optimale du générateur PV.
- $I_{\text{opt}}$  : Courant optimal du générateur PV.
- $T_j$  : Température de jonction des cellules.
- $K_{\text{des}}$  : Le coefficient de déséquilibre.
- $K_U$  : Le coefficient d'utilisation.
- $\Delta U$  : Chute de tension à l'extrémité d'une ligne triphasée.
- $P_G, Q_G$  : Sont les puissances active et réactive fournies par PV.
- $P_L, Q_L$  : Sont les puissances active et réactive de consommation.

**Table des matières**

---

<b>Sommaire.....</b>	<b>09</b>
<b>Listes des figures.....</b>	<b>14</b>
<b>Introduction Général.....</b>	<b>19</b>
<b>Chapitre I</b>	
<b>I-1 INTRODUCTION.....</b>	<b>31</b>
<b>I-2 Les Energies Renouvelables .....</b>	<b>31</b>
I-2-1 <b>Energie éolienne .....</b>	<b>32</b>
I-2-2 <b>Géothermie .....</b>	<b>33</b>
I-2-3 <b>Biomasse .....</b>	<b>34</b>
I-2-4 <b>Énergie marémotrice .....</b>	<b>35</b>
I-2-5 <b>Énergie hydroélectrique .....</b>	<b>36</b>
I-2-6 <b>Energie solaire photovoltaïque.....</b>	<b>36</b>
I-2-7 <b>Les énergies renouvelables en Algérie.....</b>	<b>37</b>
<b>I-3 NOTION PRELIMINAIRES SUR LE SYSTEME TERRE SOLAIRE.....</b>	<b>39</b>
I-3-1 <b>Rayonnement solaire globale.....</b>	<b>40</b>
I-3-2 <b>Constante d'illumination .....</b>	<b>41</b>
<b>I-4            CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE.....</b>	<b>42</b>
I-4-1 <b>Propriétés optiques.....</b>	<b>43</b>
I-4-1-1 <b>Absorption .....</b>	<b>43</b>
I-4-1-2 <b>Transmission.....</b>	<b>44</b>
I-4-1-3 <b>Réflexion .....</b>	<b>44</b>
<b>I-5            PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT .....</b>	<b>45</b>
<b>I-6            MODELISATION DU MODULE PHOTOVOLTAIQUE .....</b>	<b>46</b>
I-6-1 <b>Modèle à une diode.....</b>	<b>46</b>

---

---

I-6-2	<b>Modèle à deux diodes .....</b>	47
I-7	<b>ASSOCIATIONS DES CELLULES .....</b>	48
I-7-1	<b>Regroupement des cellules en séries .....</b>	49
I-7-2	<b>Regroupement des cellules en parallèles .....</b>	50
I-8	<b>MODELE MATHEMATIQUE .....</b>	51
I-9	<b>EFFET DE L'OMBRE.....</b>	52
I-10	<b>RESULTATS DE SIMULATION.....</b>	53
I-12	<b>CONCLUSION.....</b>	57

## **Chapitre II**

II-1	<b>INTRODUCTION.....</b>	59
II-2	<b>Le fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque.....</b>	60
II-2-1	<b>Méthode de la dérivée de la puissance.....</b>	61
II-2-2	<b>Méthode de la recherche analogique.....</b>	61
II-2-3	<b>Méthode de la perturbation et l'observation (PQ).....</b>	62
II-3	<b>ARCHITECTURE DES ONDULEURS RACCORDES AU RESEAU.....</b>	64
II-3-1	<b>L'architecture à onduleur centralisé.....</b>	65
II-3-2	<b>Architecture à onduleurs string.....</b>	65
II-3-3	<b>Architecture à onduleurs master/slave.....</b>	66
II-4	<b>ETUDE DES CONVERTISSEURS .....</b>	67
II-4-1	<b>Hacheur.....</b>	68
II-4-2	<b>Hacheur dévolteur survolteur.....</b>	68
II-4-2-1	<b>L'état passant.....</b>	69
II-4-2-2	<b>L'état bloqué.....</b>	69

	II-4-2-3	<b>Tension de sortie.....</b>	69
	II-4-2-4	<b>Influence de la résistance de la bobine.....</b>	71
II-5		<b>ONDULEURS DE TENSION MULTI NIVEAUX DE TYPE NPC.....</b>	72
	II-5-1	<b>Introduction.....</b>	72
	II-5-2	<b>Onduleur A Trois Niveaux De Type NPC.....</b>	73
	II-5-2-1	<b>Structure.....</b>	75
	II-5-2-2	<b>Fonctionnement et Configuration d'un Bras d'Onduleur à Trois Niveaux.....</b>	74
	II-5-2-3	<b>Modulation Sinusoïdale Classique.....</b>	78
II-6		<b>Architecture de connexion d'un système photovoltaïque au réseau</b>	79
	II-6-1	<b>Structure à convertisseur unique .....</b>	79
	II-6-2	<b>Structure avec bus à basse tension alternative .....</b>	79
	II-6-3	<b>Structure avec convertisseur forward.....</b>	80
	II-6-4	<b>Structure avec convertisseur de type fly-back.....</b>	81
	II-6-5	<b>Caractéristiques des onduleurs pour application photovoltaïque...</b>	81
II-7		<b>CONCLUSION.....</b>	82

### **Chapitre III**

III-1		<b>INTRODUCTION.....</b>	84
III-2		<b>ÉTAGE D'ADAPTATION ENTRE UN GPV ET UNE CHARGE .....</b>	85
III-3		<b>DONNEES METEOROLOGIQUES EN ALGERIE.....</b>	87
	III-3-1	<b>Données Météorologiques (Corrélation Site De Mesure /Site De Production) .....</b>	88
III-4		<b>MODELE DE DISTRIBUTION DE L'ENSOLEILLEMENT....</b>	101
III-5		<b>MODELE DE DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE.....</b>	102
III-6		<b>CONCLUSION.....</b>	105

---

III-7	<b>ETUDE DU SYSTEME .....</b>	107
III-7-1	<b>Profil de consommation.....</b>	110
III-8	<b>RESULTATS DE SIMULATION. ....</b>	112
III-9	<b>DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE</b>	116
III-9-1	<b>Calcul de l'énergie produite par un PV .....</b>	117
III-9-2	<b>Mode connecté au réseau.....</b>	117
III-10	<b>CONCLUSION.....</b>	120

## **Chapitre IV**

IV-1	<b>INTRODUCTION .....</b>	122
IV-2	<b>QUALITE DE L'ENERGIE .....</b>	123
IV-3	<b>AMELIORATION DE LA TENSION D'UN RESEAU BT A L'AIDE D'UN SYSTEME PV .....</b>	128
IV-3-1	<b>Introduction.....</b>	128
IV-3-2	<b>La normalisation.....</b>	128
IV-3-3	<b>Cadre réglementaire.....</b>	129
IV-3-4	<b>Cadre juridique et réglementaire.....</b>	129
IV-3-5	<b>Contraintes réglementaires.....</b>	129
IV-4	<b>CARACTERISTIQUE DU RESEAU BASSE TENSION ETUDIEE .....</b>	130
IV-5	<b>ANALYSE DES RESULTATS.....</b>	132
IV-6	<b>MAITRISE DU PLAN DE TENSION .....</b>	132
IV-7	<b>MODELISATION DU SYSTEME .....</b>	136
IV-7-1	<b>Modèle d'une ligne basse tension.....</b>	137
IV-8	<b>DETERMINATION DE LA CHUTE DE TENSION .....</b>	139

---

IV-8-1	<b>Détermination de la chute de tension dans une ligne en présence de GPV.....</b>	140
IV-9	<b>SIMULATION .....</b>	142
IV-10	<b>COMMENTAIRE.....</b>	151
IV-11	<b>CONCLUSION.....</b>	152

## **Chapitre V**

V-1	<b>INTRODUCTION .....</b>	154
V-2	<b>LA GESTION D'ENERGIE DU SYSTEME ETUDIE .....</b>	154
V-3	<b>DETERMINATION DES RELATIONS ECONOMIQUES .....</b>	156
V-4	<b>COUT DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE .....</b>	158
V-5	<b>ANALYSE DU MARCHE DE LA FILIERE PHOTOVOLTAIQUE.....</b>	160
V-6	<b>ANALYSE ECONOMIQUE .....</b>	161
V-7	<b>CONCLUSION .....</b>	168
	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	170
	<b>REFERENCES .....</b>	174

---

# Table des figures

## Chapitre I

Figure I.1 : Schéma d'une ferme éolienne.

Figure I.2 : Schéma d'exploitation d'une source géothermique.

Figure I.3 : Source primaire du potentiel en biomasse

Figure I.4 : Exploitation de l'énergie marémotrice

Figure I.5 : Schéma de transformation de l'énergie hydraulique.

Figure I.6: Module d'exploitation de l'énergie photovoltaïque..

Figure I.7 : Pénétration des EnR dans la production nationale en TWh

Figure I.8 : Structure du parc de la production nationale en MW.

Figure I.9 : Orbite terrestre et les saisons.

Figure I.10 : Différents types de rayonnement solaire.

Figure I.11 : Spectres extraterrestre (AMO) ; terrestre (AM1) et (AM1.5).

Figure I.12 : Les trois événements optiques d'un rayon lumineux.

Figure I.13: Taux de réflexion.

Figure.14: Schéma élémentaire d'une cellule

Figure.15 Modèle de la cellule solaire à une diode.

Figure I.16: Modèle de la cellule solaire à deux diodes.

Figure I.17: Caractéristiques résultantes d'un groupement de ( $N_s$ ) cellules en série.

Figure I.18 : Caractéristiques d'un groupement de  $N_p$  cellules en parallèle.

Figure I-19: Composantes d'un générateur de modules photovoltaïques.

Figure I-20: Caractéristiques résultantes d'un groupement de ( $N_s$ ) modules en série et

( $N_p$ ) modules en parallèle

Figure I-21: Chaîne de panneaux protégés

Figure I-22: Effet de la diode by-pass sur la caractéristique  $I(V)$  d'un panneau photovoltaïque..

Figure I-23: Schéma synoptique de conversion photovoltaïque.

Figure I-24: Caractéristique  $I(V)$  et  $P(V)$  d'un générateur photovoltaïque pour différents Eclairéments et température constante  $25^\circ\text{C}$ .

Figure I-25 : Influence de la température sur la caractéristique  $I(V)$  et  $P(V)$  d'un GPV



---

**Figure I-26 : Influence de la résistance série sur la caractéristique I(V) et P (V) d'un GPV.**

**Figure I-27 : Influence de la résistance shunt sur la caractéristique I(V) et P (V) d'un GPV.**

## **Chapitre II**

**Figure II.1 : Courbe de puissance maximale de la caractéristique P (V).**

**Figure II.2 : Organigramme de l'algorithme incrémentation ou décrémentation de la Tension.**

**Figure II.3 : Organigramme de l'algorithme perturbation et observation.**

**Figure II.4 : Architecture à onduleur centralisé.**

**Figure II.5 : Architecture à plusieurs onduleurs centralisés.**

**Figure II.6 : Architecture à onduleurs string.**

**Figure II.7 : Architecture à onduleur master/slave.**

**Figure II.8 : Schéma de base d'un hacheur dévolteur survolteur.**

**Figure II.9 : Schéma synoptique d'un hacheur dévolteur survolteur avec les courants IG, ID, IC, IL.**

**Figure II.10: Influence de la résistance de la bobine sur la tension de sortie du hacheur.**

**Figure II.11 : Structure d'un onduleur trois niveaux.**

**Figure II.12 : Structure d'un bras de l'onduleur à 3-niveaux de type NPC.**

**Figure II.13 : Les différents configurations d'un bras d'onduleur trois niveaux.**

**Figure II.14 : Vecteurs tension que peut fournir l'onduleur à 3-niveaux de tension.**

**Figure II.15 : Principe de la modulation sinusoïdale classique.**

**Figure II.16 : Schéma synoptique des signaux de commande des interrupteurs pour un bras d'onduleur.**

**Figure II.17 : Structure à convertisseur unique .**

**Figure II-18: Structure avec bus à basse tension alternative.**

**Figure II-19 : Structre de type forward alimentant le bus continu.**

**Figure II-20 : Structure avec un convertisseur de type flyback.**

---

## Chapitre III

**Figure III.1 : Etage d'adaptation entre le GPV et la charge**

**Figure III.2 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque**

**Figure III.3 : Schéma d'optimisation de transfert d'énergie**

**Figure III.4 : Insolation réel mois janvier (2010-2012)**

**Figure III.5 : Insolation réel mois février (2010-2012)**

**Figure III.6 : Insolation réel mois mars (2010-2012)**

**Figure III.7 : Insolation réel mois avril (2010-2012)**

**Figure III.8 : Insolation réel mois mai (2010-2012)**

**Figure III.9 : Insolation réel mois juin (2010-2012)**

**Figure III.10 : Insolation réel mois juillet (2010-2012)**

**Figure III.11 : Insolation réel mois aout (2010-2012)**

**Figure III.12 : Insolation réel mois septembre (2010-2012)**

**Figure III.13 : Insolation réel mois octobre (2010-2012)**

**Figure III.14 : Insolation réel mois novembre (2010-2012)**

**Figure III.15 : Insolation réel mois décembre (2010-2012)**

**Figure III.16: distribution de la Température ambiante et ensoleillement pour une journée(d) estimée.**

**Figure III.17: Température de jonction des cellules.**

**Figure III.18 : Température de jonction des cellules sous différents ensoleillements.**

**Figure III.19: Installation photovoltaïque autonome.**

**Figure III.20 : Installation photovoltaïque couplée au réseau.**

**Figure III.21: Schéma électrique de la chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.**

**Figure III.22 : La tension de sortie du hacheur en fonction de la tension d'entrée et du rapport cyclique  $\alpha$ .**

**Figure III-23: Structure du hacheur dévolteur-survolteur avec sa commande.**

**Figure III-24: Profil de consommation pour une charge triphasée.**

**Figure III-25: Schéma synoptique du système de conversion d'énergie avec charge Triphasée.**

**Figure III-26: Allure des tensions de sortie sans la charge**

**Figure III-27: Allure des tensions de sortie sans la charge**

**Figure III-28: Allure des courants des phases avec charge RL.**

**Figure III-29: Allure des tensions composés avec charge RL.**

---

Figure III-30: Schéma fonctionnel du modèle énergétique d'une installation.

## Chapitre IV

Figure IV.1 : Schéma électrique de la chaîne de conversion photovoltaïque muni d'un filtre LC

Figure IV.2 : Caractéristique de l'ensemble, tension composées, courants de ligne avant filtrage

Figure IV.3 : Profil de la tension avec et sans la production décentralisée.

Figure IV.4 : Schéma du réseau électrique basse tension

Figure IV.5 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque raccordée au réseau BT

Figure IV.6 : Représentation de la ligne en  $\pi$

Figure IV.7 : Modèle d'une ligne courte

Figure IV.8 : Schéma électrique de la chaîne de conversion photovoltaïque raccordé au réseau BT

Figure IV.9 : Détermination de la chute de tension dans une ligne en présence de GPV

Figure IV.10 : Allure de la tension des trois départs

Figure IV.11 : Allure du courant des trois départs

Figure IV.12 : Evolution de la fréquence du réseau étudié

Figure IV.13 : Profil de la chute de tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 27

Figure IV.14 : Profil de la chute de tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 22

Figure IV.15 : Profil de la chute de tension du départ n°1 initiale et après compensation globale

Figure IV.16 : Profil de la tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 27

Figure IV.17 : Profil de la tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 22

Figure IV.18 : Profil de la tension du départ n°1 initiale et après compensation globale

Figure IV.19 : Profil de la chute de tension du départ n°2 initiale et après compensation au nœud 18

Figure IV.20 : Profil de la tension du départ n°2 initiale et après compensation globale

---

## Chapitre V

**Figure V.1 : Schéma des échanges d'énergies du système étudié**

**Figure V.2 : Structure des Coûts d'une installation solaire photovoltaïque**

**Figure V.3 : Evolution des Coûts de l'électricité solaire photovoltaïque pour différentes Puissances**

**Figure V-4: Estimation du potentiel du photovoltaïque Source (European Photovoltaic Industry Association)**

**Figure V-5 : Prévission du marché photovoltaïque annuel par région**

**Figure V.6 : Origine d'énergie alimentant le consommateur**

**Figure V-7 : Profil de consommation horaire**

**Figure V-8 : Chute de tension d'un consommateur**

**Figure V-9 : Réduction de la pointe grâce au PV**

---

# INTRODUCTION GENERALE

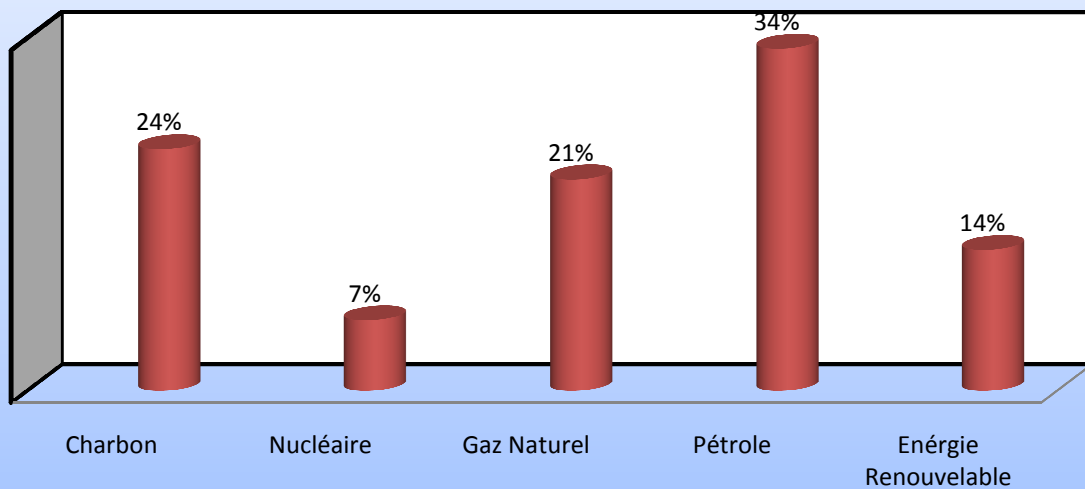
### Introduction

La croissance constante de la consommation d'énergie sous toutes ses formes et les effets polluants associés, principalement causés par la combustion des énergies fossiles, sont au coeur de la problématique du développement durable et du soin de l'environnement dans une discussion pour l'avenir de la planète. Cette croissance se traduit, en réalité, par une augmentation des prix, notamment le prix du pétrole qui représente la source d'énergie la plus importante et son utilisation est responsable principalement à l'augmentation de l'effet de serre sur la planète.

Des mesures de limitation des gaz à effet de serre issus principalement de la combustion des carburants fossiles ont été décidées depuis le sommet de la terre à Rio en 1992 et suivies par d'autres mesures rigoureuses décidées à Kyoto en 1997 chiffrant la réduction de ces gaz de 5.2% entre 2008 et 2012 par rapport au niveau de 1994. Pour imposer carrément à la communauté Internationale la pénétration des énergies renouvelables d'une manière progressive et solidaires ; et d'atténuer les conséquences encore insoupçonnées de ce phénomène sur le devenir de notre Planète tout entière. [1].

Le développement durable est défini comme un développement répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs besoins. Les évolutions institutionnelles et techniques associées à ces nouvelles contraintes encouragent, de plus en plus, une grande pénétration de la production décentralisée. Celle-ci a trouvé son intérêt dès lors que l'on cherchait des solutions pour les différents Problèmes socio-économiques liés au secteur de la production de l'énergie électrique. Aujourd'hui plus de 85% de l'énergie produite est obtenue à partir des matières fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou de l'énergie nucléaire. La figure (1) montre la répartition en termes d'énergie primaire dans le monde pour toutes les ressources actuelles.

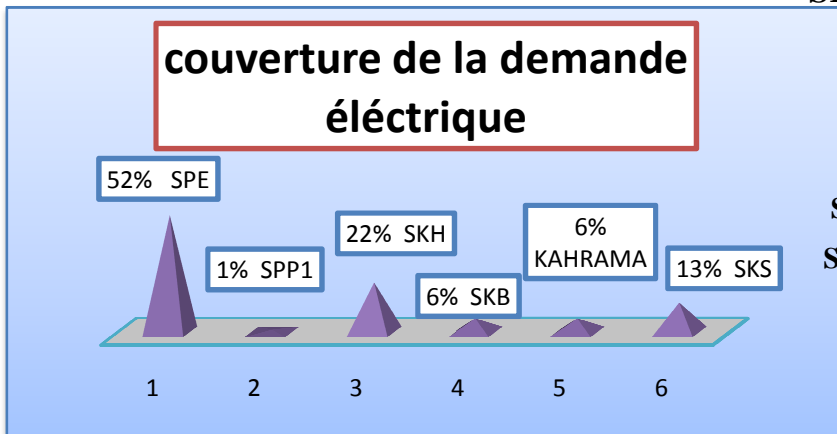
## Répartition des sources dans le monde



*Figure 1 : Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde.*

Aujourd'hui les besoins énergétiques de l'Algérie sont satisfaits, presque exclusivement, par les hydrocarbures, notamment le gaz naturel, énergie la plus disponible. Il n'est donc fait appel aux autres formes d'énergie que lorsque le gaz ne peut pas être utilisé. A long terme, la reconduction du modèle national de consommation énergétiques actuel peut rendre problématique l'équilibre offre demande pour cette source d'énergie.

Les niveaux des besoins en gaz naturel du marché national seraient de l'ordre de 45 milliards de  $m^3$  en 2020 et 55 milliards de  $m^3$  en 2030. A ces besoins s'ajoutent les volumes dédiés à l'exportation dont les revenus contribuent au financement de l'économie. De même, la production d'électricité cumulée à fin mai 2011 était de l'ordre de 18830 GWh, représentant une hausse de 6,7% par an, elle devrait se situer entre 75 à 80 Twh en 2020 et entre 130 à 150 Twh en 2030. La figure (2) montre la couverture de la demande électrique par producteur.



**SPE** : Société Algérienne de  
La Production de L'électricité

**KAHRAMA**: Shariket Kahraba  
Wama

**SKS**: Shariket Kahraba Skikda

**SKB**: Shariket Kahraba Berrouaghia

**SKH**: Shariket Kahraba Hadjret  
Ennous

**SPP1**: Société Solar Power Plant ONE

*Figure 2: Couverture de la demande électrique par producteur.*

L'intégration massive du renouvelable dans le mix énergétique constitue en ce sens un enjeu majeur en vue de préserver les ressources fossiles, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable.

Les réseaux électriques sont, actuellement, soumis à des nouvelles contraintes:

- ✓ L'ouverture du marché de l'électricité,
- ✓ La réduction des émissions des gaz à effet de serre pour répondre au Protocole de KYOTO,
- ✓ L'évolution rapide de la demande

En Algérie les demandes d'énergies ont augmenté d'une manière importante ces dernières années et qui sont justifier par la croissance économique et la démographie, ces besoins énergétiques, qui sont satisfaits essentiellement par le pétrole et le gaz naturel, imposent l'augmentation significative de l'offre d'hydrocarbures. Ce pendant, la question qui interpelle sur le long terme est : Est ce que l'Algérie pourrait satisfaire ces besoins énergétiques et maintenir le rythme de production et d'exploitation, face aux besoins croissants du pays. En effet, si tous les pays sont aujourd'hui conscient de la nécessité de déployer des efforts pour assurer la sécurité énergétique et ainsi parer à la problématique de la rareté et de la cherté des énergies fossiles.



## Introduction

---

L'un des éléments de réponse face à cette situation est l'utilisation des énergies renouvelables comme sources énergétique complémentaires, tout en préservant nos gisements fossiles (Pétrole et gaz) le plus longtemps possible avec une pollution moindre et contrôlée.

La tendance actuelle vers une certaine décentralisation de la production d'énergie électrique est susceptible de s'accroître suite à l'arrivée à maturité de nouveaux moyens de transformation de l'énergie primaire [2]. La science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites « renouvelables » et notamment vers la plus ancienne, l'énergie solaire, capter cette énergie et la transformer directement en électricité par effet photovoltaïque, est une technologie en rapide évolution.

Si aucune mesure n'est prise pour développer ces énergies la dépendance des pays en développement envers les pays développés sera de plus en plus pesante financièrement et lourde en conséquences.

### **Historique du photovoltaïque [1,3].**

L'héliosélectricité, qui traite la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium, mais ce n'est qu'à partir de 1954 ; avec la réalisation des cellules photoélectriques au silicium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie.

Très rapidement utilisés pour l'alimentation des véhicules spatiaux ; mais pour des raisons à la fois techniques et économiques, cette nouvelle source d'énergie a tardé à s'imposer en dehors du domaine spatial. Au cours des années 80, la technique photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et même devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel au montre, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. La découverte de l'effet photovoltaïque (PV) est communément attribuée à Becquerel Antoine César » qui constata les effets électriques que produisent les rayons solaires dans une pile

## Introduction

---

constituée par des électrodes de platine et de cuivre oxydé plongeant dans une solution électrolytique acide.

Smith et Adams firent les premiers états de photoconductivité respectivement en 1873 et 1876 dans le sélénium.

En 1940 Adler, reprenant une idée émise par Garrison en 1923, étudia la tension du circuit ouvert d'une pile et sa variation en fonction de l'intensité d'illumination.

R.S.ohl découvrit, en 1941, la première réalisation d'une jonction (P-N) dans le silicium à effet Photovoltaïque, mais il faut attendre jusqu'à l'année 1955 pour la mise au point d'une cellule dont le rendement de conversion énergétiques atteint 6% marquant ainsi la naissance de la photopile solaire. Par la suite, le développement des techniques utilisées dans l'industrie des semi conducteurs (redresseurs et transistors) a permis d'améliorer les qualités des matériaux utilisés.

En 1960 M.rodot et H.voldam réalisèrent la première cellule photovoltaïque au centre national de la recherche scientifique C.N.R.S.

Quelques années plus tard, en 1973..1974, en pleine crise pétrolière on se précipite sur toutes les possibilités de remplacer le pétrole et les énergies fossiles .Parmi les énergies envisagées, la production directe d'électricité par l'effet photovoltaïque.

La cellule photovoltaïque ne produit qu'une très faible puissance électrique de l'ordre de **1** à **3Watt** avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module photovoltaïque.

Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La plupart des modules commercialisés sont composés de **36**cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en **12 V**. Le courant de sortie, et donc la puissance, seront proportionnels à

---

la surface du module. L'interconnexion de modules entre eux (en série ou en parallèle) pour obtenir une Puissance encore plus grande, définit la notion de champ photovoltaïque.

Le générateur Photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

### **Les différentes voies d'exploitation de l'énergie solaire**

L'exploitation de l'énergie solaire par l'homme dans les conditions techniques et économiques optimales constitue un défi majeur. Il existe principalement trois voies pour exploiter l'énergie solaire.

- ✓ Solaire photovoltaïque : la lumière du soleil est transformée directement en électricité par des cellules photovoltaïques, elle résulte de la conversion directe dans un semi conducteur d'un photon en électron.
- ✓ Solaire thermique : est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique, cette transformation peut être utilisée pour (chauffe-eau et chauffage résidentiel).
- ✓ Solaire thermodynamique : qui utilise la chaleur pour produire de l'énergie, le rayonnement solaire est la source du chauffage d'un fluide dont le but d'entraîner une turbine à vapeur ou à combustion pour produire l'électricité.

---

## **PROBLEMATIQUE :**

Poussée par un contexte favorable (volonté politique, intérêt économique) et encouragée par les incitations réglementaires .La production décentralisés, en particulier la production d'énergie à base des cellules photovoltaïques se développe dans de nombreux pays. Le développement se fait de manière significative sur des réseaux qui n'étaient pas conçue à l'origine pour accueillir de la production d'énergie [3].

L'application photovoltaïque ne se limite plus à son utilisation dans les sites isolés. La tendance actuelle, notamment dans les pays industrialisés, est de raccorder au réseau électrique les installations individuelles et particulièrement les installations collectives. Les nouvelles technologies permettent l'intégration des modules photovoltaïques dans des installations de production d'électricité, cette intégration nécessitera de plus en plus des systèmes intelligents de contrôle et de gestion du réseau.

Toutefois, les prévisions de baisse des prix des modules photovoltaïques ont été trop optimistes et l'industrie photovoltaïque se trouve dans une situation difficile. En effet, la complexité des procédés de fabrication des modules et les rendements de production trop faible entraînent des coûts élevés qui freinent le volume des ventes. Les problèmes concernent autant le matériau de conversion photovoltaïque, qui reste cher à synthétiser, que la chaîne de conversion électrique, qui présente beaucoup de pertes lors d'une utilisation mal adaptées.

Le cadre de ce travail qui a été défini concerne le système de production d'électricité décentralisée sans système de stockage pour des applications stationnaires de petites tailles, peut être raccordé au réseau de distribution, alimentées par un générateur photovoltaïque. Ces performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement, température ambiante, obstacles géographiques, empoussièrément,.. etc.), du rendement des modules mais aussi des caractéristiques des autres équipements utilisés (régulateur, onduleur, etc.).

## Introduction

---

L'objectif de ce présent travail est la diminution du coût du générateur photovoltaïque et une gestion adéquate de l'énergie par un dimensionnement optimal du système. Ensuite assuré une meilleur intégration de la production d'énergie à base des cellules photovoltaïque dans les réseaux électrique, qui en fera de cette forme d'énergie à notre avis un partenaire concurrentiel, pour alimenter les réseaux dans quelques années.

Le présent mémoire est organisé en cinq chapitres qui présentent, de manières assez indépendantes la production d'électricité par l'effet photovoltaïque, ainsi que l'ensemble des composants qui adapte l'électricité produite aux normes et spécifications des consommateurs. Il s'inscrit aussi dans la problématique de l'intégration de la production d'énergie à base des cellules photovoltaïque dans les réseaux de distribution électriques.

Dans le premier chapitre, nous aborderons en premier lieu quelques notions préliminaires les différents forme d'énergie renouvelable, une attention particulière donné sur la source d'énergie que présente le soleil, nous rappelons ensuite le principe de fonctionnement et les paramètres principaux d'une cellule photovoltaïque. A la fin de ce chapitre, nous aborderons le modèle théorique et les caractéristiques principales sous différents éclairagements et températures. Dans la plupart des travaux de la littérature, on trouve principalement deux modèles de la cellule photovoltaïque, nous nous sommes intéressés au modèle qui est communément utilisé c'est le modèle théorique à une diode.

Dans le deuxième chapitre, le travail présenté porte en premier lieu sur l'étude du hacheur ,sa structure et son principe de fonctionnement ,une attention particulière à été donné au hacheur dévolteur –survolteur comme étage d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge ,ensuite nous avons abordés l'étude détaillée de l'onduleur de tension trois niveaux de type (Neutral Point Clamped) dont le but d'avoir une tension de sortie plus proche de la sinusoïde

## Introduction

---

c'est-à-dire une tension de meilleur qualité ,c'est un besoin nouveau dont la satisfaction constitue un défi technique pour les distributeurs d'énergie .

Dans le troisième chapitre, nous avons développés l'étude du système complet, c'est à dire toutes les entités composant la chaine de conversion photovoltaïque face aux variations Climatiques et de charge, destiné pour des applications en, basse tension, pour cela les données de consommations sont fournis par la direction de la distribution d'électricité, elles correspondent à la puissance électrique consommée pour une administration comportant toutes les commodités.

Les données météorologiques (température-ensoleillement) sont .fournies par la direction de la météo. Nous avons considéré le site de mesure c'est le même site de production qui dispose d'un gisement solaire très important. Une analyse statistique de la température extérieure du site d'implantation qui est le site de production à été faite dans le but d'optimiser les systèmes photovoltaïques, une augmentation de la température extérieure peut diminuer les performances des panneaux, et une diminution de la température peut l'augmenter, nous n'avons pas pris en considération les autre facteurs climatiques (vent, orage) qui sont des facteurs non maitrisables et difficilement quantifiables.

Dans le quatrième chapitre, nous aborderons en premier lieu l'amélioration de la qualité d'énergie fournie par les générateurs photovoltaïque, il n'y a pas une solution standard pour ces différents problèmes, nous avons choisi la mieux adaptée en prenant en compte certains critères techniques et économiques. Pour cela on à introduit un filtre passif afin de réduire le taux d'harmonique (THD), et d'essayer d'avoir à la sortie de ce dispositif une tension utilisable, et pouvant être injectée dans le réseau de distribution basse tension.

Par la suite, nous exposons la problématique de l'intégration des productions décentralisés dans les systèmes d'énergie électrique, il est focalisé sur l'intégration des générateurs

## Introduction

---

photovoltaïques, dans les réseaux de distribution basse tension, comme moyen de compensation, en produisant l'énergie électrique à l'endroit du déficit .pour cela nous avons analysé le comportement d'un poste MT/BT Qui présente des chutes de tension sur deux départs et on a essayé de raccorder au bout de chaque départ une mini centrale photovoltaïque dans le but de ramener les paramètres techniques du réseau (tension courant) dans les limites admissible.

Dans le cinquième chapitre, nous exposons la problématique de l'apport économique d'une production photovoltaïque dans un réseau de distribution basse tension qui n'à pas fait l'objet d'étude exhaustives surtout en Algérie. Nous avons comparé la facturation d'un consommateur avec et sans générateur photovoltaïque pour une année de consommation et durant la durée de vie du système estimée à 25 ans d'après la littérature. Par la suite, nous avons déterminés l'évolution des coûts des différents éléments d'une installation photovoltaïque autonome et raccordé au réseau basse tension afin d'arriver à tirer profit du développement de la technologie du photovoltaïque.

Enfin, nous avons présenté les principaux résultats de simulation, et les perspectives qui en résultent.

# CHAPITRE I

## Les différents concepts de la technologie des cellules Photovoltaïques



## **I-1 INTRODUCTION**

Ce chapitre est divisé en deux parties, dans la première partie en présente les bases indispensables à la compréhension du sujet. Nous aborderons ainsi en premier lieu quelques notions sur les énergies renouvelables et par la suite, nous focalisons notre attention sur l'énergie solaire photovoltaïque l'objet de notre travail sur ce, nous examinons la source d'énergie que présente le soleil, et son application dans le domaine photovoltaïque.

Dans la deuxième partie, nous rappelons le principe de fonctionnement et les paramètres principaux d'une cellule photovoltaïque, leur caractéristiques principales, le modèle théorique, ainsi que l'influence des divers paramètres sur les caractéristiques (courant – tension) ;(puissance –tension) sous éclairement de la cellule .Les différents concepts de la technologie des cellules solaires nous ramènent au développement du modèle théorique à une diode, le modèle qui est communément utilisé par la majorité des chercheurs. Les caractéristiques principales sous différents éclairements et températures ont été développés par simulation dans l'environnement matlab, ainsi que l'influence des différents paramètres interne et externe sur la caractéristique de la cellule photovoltaïque. Ces derniers influents fortement sur le rendement de conversion d'énergie.

## **I-2 LES ENERGIES RENOUVELABLES**

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables . Naturellement décentralisées, il est intéressant de les mettre en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins. La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement.

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre, de la biomasse humide ou sèche, à une échelle de temps compatible avec l'histoire de l'humanité. Ce n'est pas le cas des combustibles fossiles et nucléaires[4].

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres : elles perturbent généralement moins l'environnement, n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets ; elles sont inépuisables ; elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux ; elles offrent une importante indépendance énergétique. La diversification des sources d'énergie est une solution à promouvoir, cependant ceci doit s'inscrire dans une politique de développement durable, dans laquelle de nombreuses nations s'engagent aujourd'hui.

### **I-2-1 Energie éolienne**

Par définition, l'énergie éolienne est l'énergie produite par le vent. Elle est le fruit de l'action d'aérogénérateurs, de machines électriques mues par le vent et dont la fonction est de produire de l'électricité.

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor qui, couplé à une génératrice, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse du vent mais aussi de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air.

Il existe également deux possibilités d'installation des parcs éoliennes: éolien en mer et éolien sur terre dont les installations en mer comportent une capacité très importante. La puissance d'un parc éolien varie de quelques Mégawatts à quelques centaines de Mégawatts.



*Figure I-1: Schéma d'une ferme éolienne.*

### **I-2-2 Géothermie**

La géothermie c'est l'ensemble des applications techniques qui permettent d'exploiter les sources d'énergie géothermiques. Les centrales géothermiques utilisent la chaleur de nappes d'eau souterraine dans les zones les plus favorables. Cette chaleur est soit directement utilisée, soit convertie en énergie électrique grâce aux générateurs. La taille typique des centrales géothermiques varie de 5 à 50 MW.

Il existe trois types de géothermie

- La géothermie de haute énergie supérieure à 180°C et de moyenne énergie entre 100°C et 180°C, sa principale utilisation est la production d'électricité
- La géothermie basse énergie entre 30°C et 100°C, couvre une large gamme d'usages comme le chauffage urbain, le chauffage de serres.
- La géothermie très basse énergie entre 10°C et 30°C, utilisée pour le chauffage et la climatisation.



*Figure I-2: Schéma d'exploitation d'une source géothermique.*

### **I-2-3 Biomasse**

Certaines centrales thermiques à flamme utilisent comme source primaire, les déchets du bois (issus de la sylviculture, des scieries, des industries et du bâtiment), le bois des essences à croissance rapide (saules, peupliers...) et les déchets agricoles (paille et lisier), ainsi que les déchets urbains, les ordures ménagères et les déchets industriels du secteur Agroalimentaire.

Ces déchets organiques industriels et ménagères constituent aujourd'hui une filière de production à part entière et augmentent le potentiel en biomasse.

Le biomasse permet de produire :

- De l'énergie thermique par combustion dans une chaudière, (en parle de l'incinération pour les déchets).
- De l'énergie électrique par cogénération.
- De l'énergie chimique par méthanisation (le biogaz) ou par synthèse d'alcools ou d'huiles (le biocarburant).



*Figure I-3: Source primaire du potentiel en biomasse*

#### **I-2-4 Énergie marémotrice**

L'énergie marémotrice est une énergie connue depuis l'antiquité, après la découverte des marées par les grecs et les romains, et la découverte de la loi de la gravitation, l'homme a réussi de tirer profit de ce phénomène pour la production de l'énergie électrique. L'énergie marémotrice est issue du mouvement de l'eau ,le phénomène de marée est du aux forces de gravitation entre la terre et les autres astres ,principalement la lune et le soleil ,il se traduit en mer par l'apparition d'ondes de gravité qui se manifestent par des variations périodiques du niveau de la mer ,associées à des courants, cette énergie peut être captée sous deux formes :

- Une énergie potentielle issue des variations du niveau de la mer.
- Une énergie cinétique issue des courants qui peut actionner une turbine



*Figure I-4: Exploitation de l'énergie marémotrice.*



### I-2-5 Énergie hydroélectrique

L'énergie hydroélectrique résulte de la transformation de l'énergie hydraulique fournie par une masse d'eau en mouvement (fleuves, rivières, chute d'eau) en énergie électrique. L'énergie cinétique de l'eau se transforme en énergie électrique grâce à des centrales hydroélectriques, certaines installations comportent des barrages, qui servent à augmenter la hauteur de la chute de l'eau ou à régulariser le débit, et des réservoirs où l'eau est emmagasinée comme réserve d'énergie. D'autres produisent de l'électricité en utilisant le débit de l'eau de façon immédiate (centrales au fil de l'eau). La puissance d'un générateur hydraulique dépend de deux facteurs, la hauteur de la chute d'eau (dénivelé) et le débit de l'eau



*Figure I-5: Schéma de transformation de l'énergie hydraulique.*

### I-2-6 Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque qui est le sujet de notre étude est un thème au centre de l'actualité, c'est une énergie renouvelable, non toxique, son impact sur l'environnement est minime, l'énergie électrique est produite par les cellules photovoltaïques par l'incidence lumineuse sous l'effet **photoélectrique**.

Lorsque les différentes couches de semi conducteurs qui composent les cellules photovoltaïques sont éclairés, les photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) franchissent la barrière de potentiel et engendrent un courant électrique continu.



*Figure I-6: Module d'exploitation de l'énergie photovoltaïque.*

### **I-2-7 Les énergies renouvelables en Algérie**

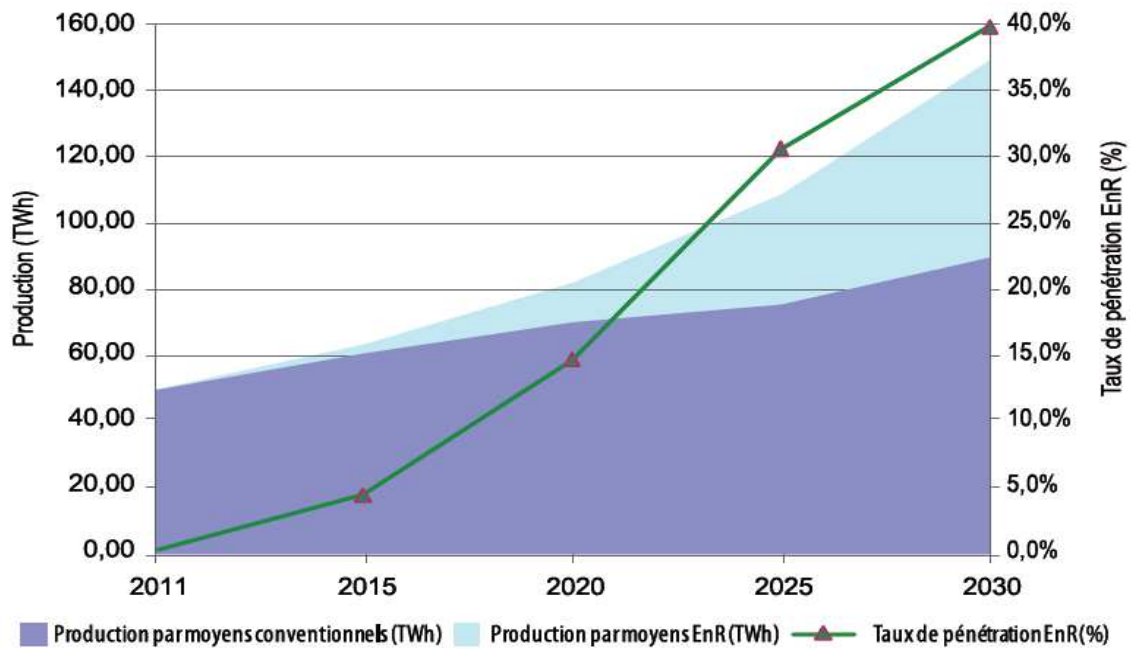
L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelable (EnR) et d'efficacité énergétique .Cette vision s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisable, comme le solaire et leurs utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie à une nouvelle ère énergétique durable. Le potentiel national en énergie renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois .Le programme des EnR est défini ainsi pour les différentes phases :

**2013**, il est prévu l'installation d'une puissance totale de l'ordre de 110MW ;

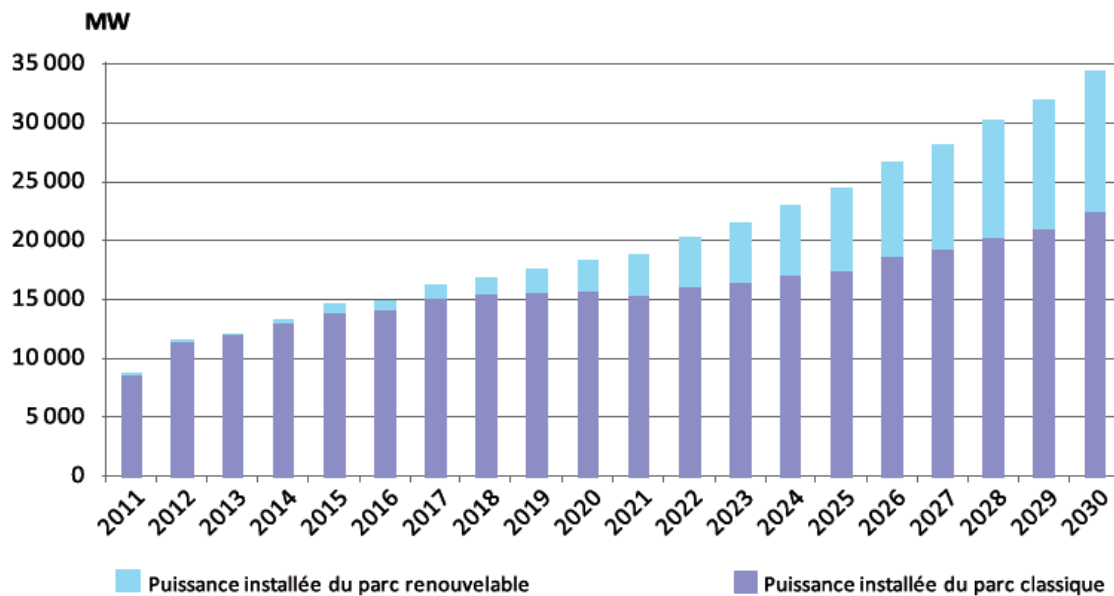
**2015**, installation d'une puissance totale de près de 650 MW ;

**2020**, il est attendu l'installation d'une puissance totale d'environ 2600MW pour le marché national et une possibilité d'exportation de l'ordre de 2000 MW ;

**2030**, il est prévu l'installation d'une puissance de près de 12000 MW pour le marché national ainsi qu'une possibilité d'exportation allant jusqu'à 10000 MW.



*Figure I-7: Pénétration des EnR dans la production nationale en TWh.*

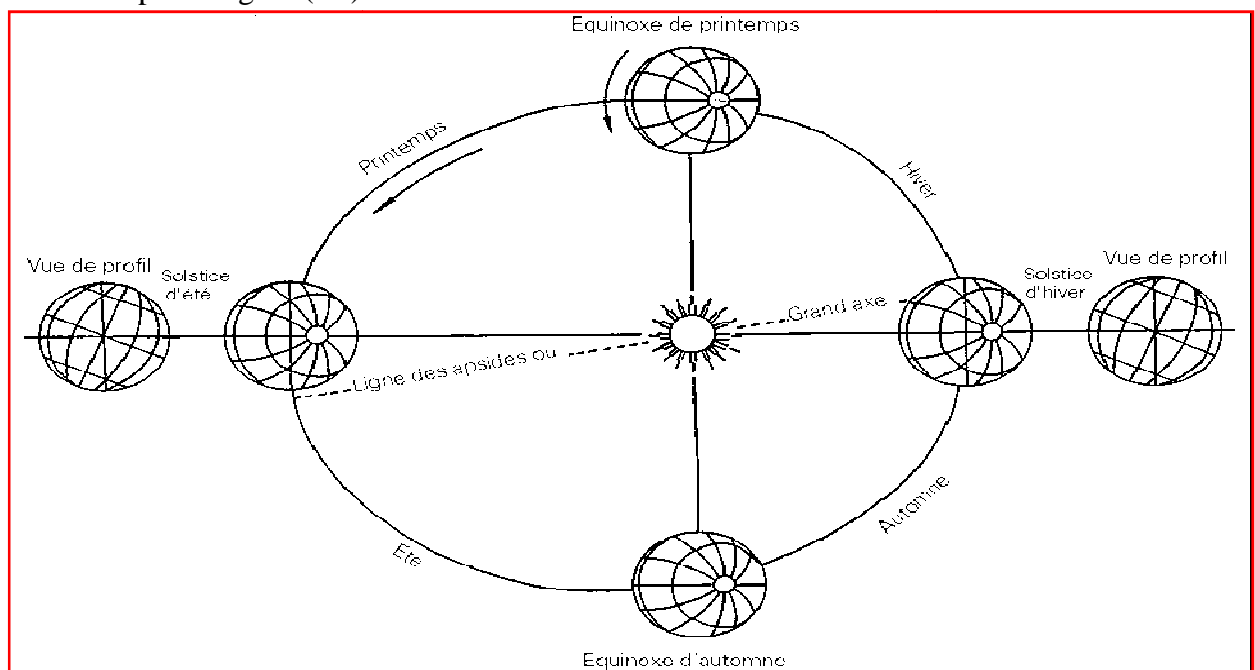


*Figure I-8: Structure du parc de la production nationale en MW.*



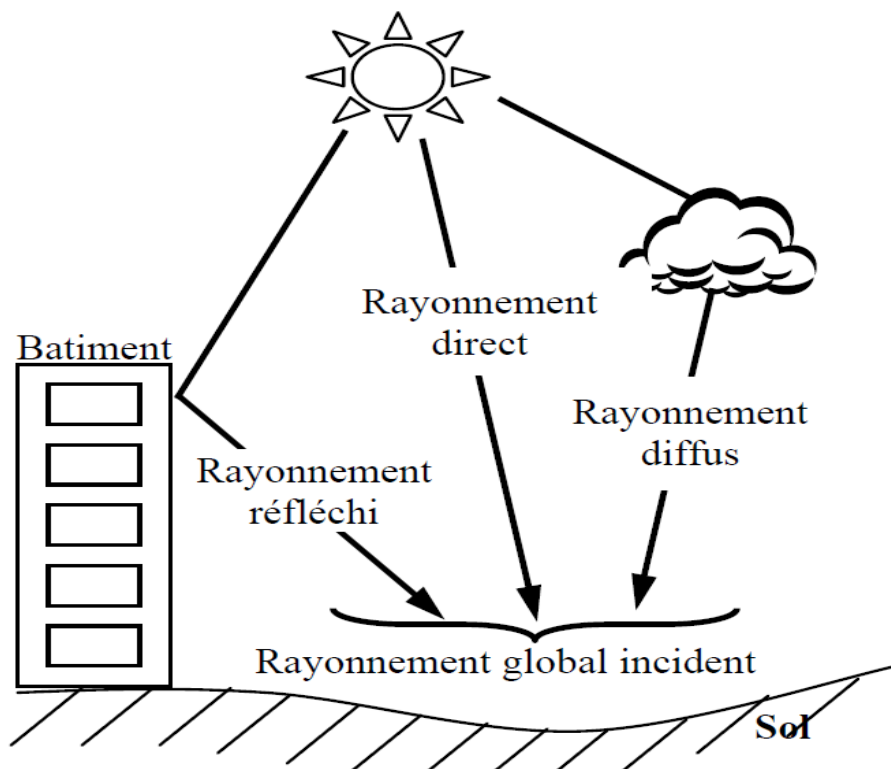
### I-3 NOTION PRELIMINAIRES SUR LE SYSTEME TERRE –SOLEIL

Le soleil est une sphère de matière gazeuse, dont le diamètre est 1.391.000 km et qui est Placée à 150.000.000 km de nous, cette distance est si grande que sa lumière nous Parvient 8 minutes après avoir été émise .N’oublions pas qu’elle voyage à la vitesse de 300.000 km/s c.à.d. qu’elle fait 7 fois le tour de la terre en 1 seconde. Quant à son volume, il pourrait contenir 1300.000 terre.sa masse est de 330.000fois celle de la terre ( $1.99 \cdot 10^{30}$  kg) il représente 99.87% de la masse totale du système solaire c.à.d. que l’ensemble de toutes les comètes et planètes ne représente que le millième du soleil. Sa lumière soit 600.000 fois plus élevée que celle de la lune il n’est visible qu’a une distance de 60 AL (année- lumière). Notre soleil est donc une boule de gaz composé de 70% d’hydrogène et de 28% d’hélium. Les 2% restants représentent la plupart des autres atomes présents dans l’univers. La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe l’un des foyers. La terre traverse le grand axe de l’ellipse le 2 janvier (position la plus proche) et le 2 juillet (la plus éloignée du soleil).Les mouvements de la terre autour de son axe et autour du soleil sont schématisés par la figure (I-9).



**Figure I-9: Orbite terrestre et les saisons.**

### I-3-1 Rayonnement solaire globale



*Figure I-10: Différents types de rayonnement solaire*

On distingue quatre types de rayonnement solaire : global, direct, diffus et réfléchi. Le rayonnement global correspond à l'éclairement énergétique d'une surface horizontale unitaire pendant une période donnée, il est mesuré en watts par m<sup>2</sup>. Une partie de ce rayonnement correspond à la fraction du rayonnement solaire incident qui atteint directement le sol; c'est le rayonnement direct. Le rayonnement diffus représente la deuxième composante du rayonnement global. Il provient de la diffusion du rayonnement solaire incident dans l'atmosphère et dépend de la couverture nuageuse. Enfin, le rayonnement réfléchi traduit la fraction d'énergie reçue par le sol ou un bâtiment puis réfléchi.

Le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, qui absorbe une partie (29%), rediffuse vers l'espace une partie (23%). Le rayonnement solaire diffus et direct est appelé rayonnement global incident arrivant au sol.

### I-3-2 Constantes d'illumination : [4]

L'Intensité lumineuse issue du soleil normalement incidente sur la surface de la terre est appelée « constante solaire » cette constante est approximativement d'une valeur de  $1.4 \text{ KW}/\text{M}^2$  au dessus de la couche atmosphérique et est réduite sur terre à  $1 \text{ KW}/\text{M}^2$ . Cette perte est appelée « la masse d'air » (AM). La désignation AM0 correspond à une masse d'air nulle pour la lumière arrivant au dessus de notre atmosphère à incidence normale.

Pour tenir compte de la position relative du soleil qui modifie l'épaisseur d'atmosphère de traversée, on introduit un coefficient  $m$  appelé

« Masse atmosphérique » ou nombre « masse d'air » calculé comme suit :

$$m = \frac{P}{1013} \cdot \frac{1}{\sin(A)} \exp\left(\frac{-Z}{7.8}\right)$$

Avec :  $P \text{ (N.m}^2\text{)}$  : pression

$A$  : étant l'angle entre l'incidence des rayons lumineux et l'horizontale à la terre

$Z \text{ (km)}$  : altitude

Dans les conditions normales et au niveau de la mer l'expression simplifiée est utilisé

$$m = \frac{1}{\sin(A)}$$

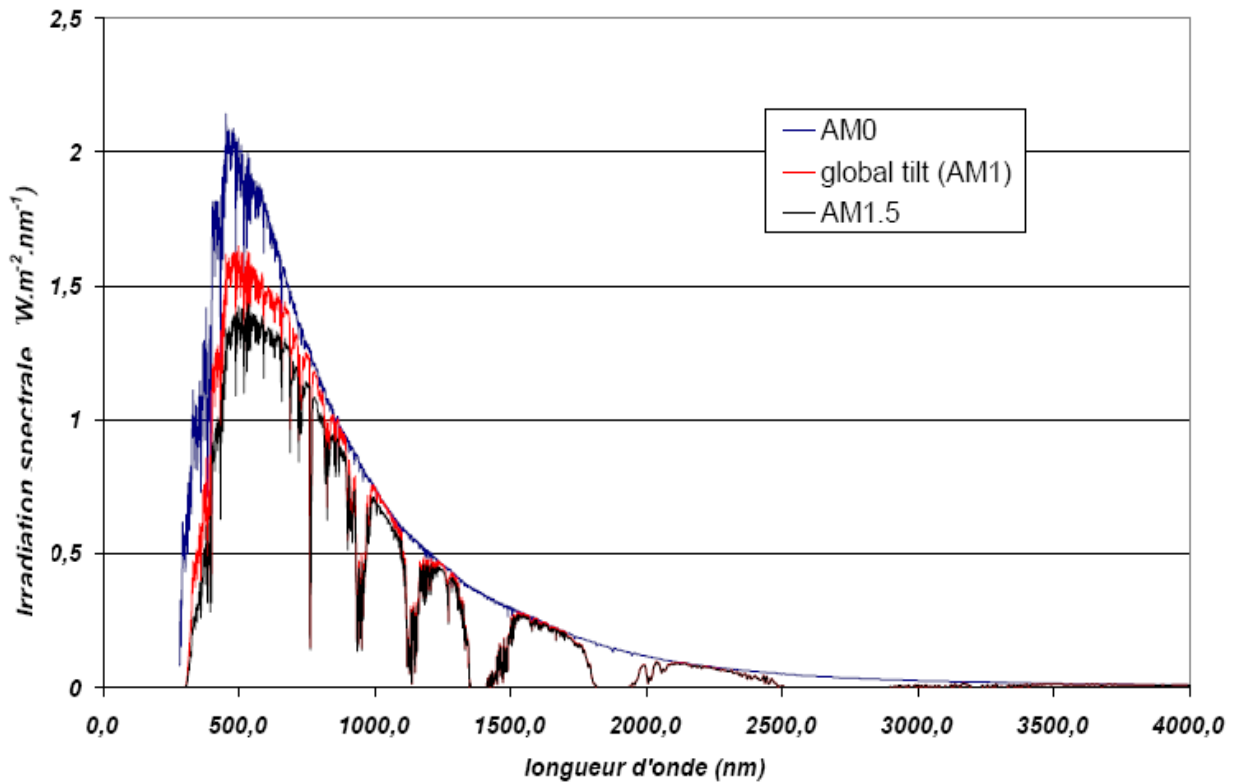
Lorsque le soleil est au zénith ; on dit que l'on a les conditions AM1 car les rayons lumineux traversant une épaisseur d'atmosphère unité (7.8 km).

Avec un soleil à  $30^\circ$  sur l'horizon, on obtient les conditions AM2.

L'appellation AM1.5 : désigne la masse d'air rencontrée pour la lumière arrivant à  $48.2^\circ$  sur la surface de la terre.

Ce nombre masse d'air sert donc à définir un spectre de référence pour calibrer les cellules étalons destinés à qualifier les performances des dispositifs photovoltaïques. Ainsi les conditions standard de qualification des cellules sont

Un spectre AM1.5 ; une puissance incidente de  $1000\text{w/m}^2$  et une température de  $25^\circ\text{c}$  ; c'est pour de telles conditions que doivent être fournies les performances et spécifications d'un dispositif photovoltaïque donné.



*Figure I-11: Spectres extraterrestre (AM0) ; terrestre (AM1) et (AM1.5).*

#### **I-4 Conversion photovoltaïque**

Le principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque qui convertit directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Dès que la lumière percute un matériau comme le silicium, la conversion d'énergie fait intervenir trois phénomènes physiques intimement liés et simultanés :

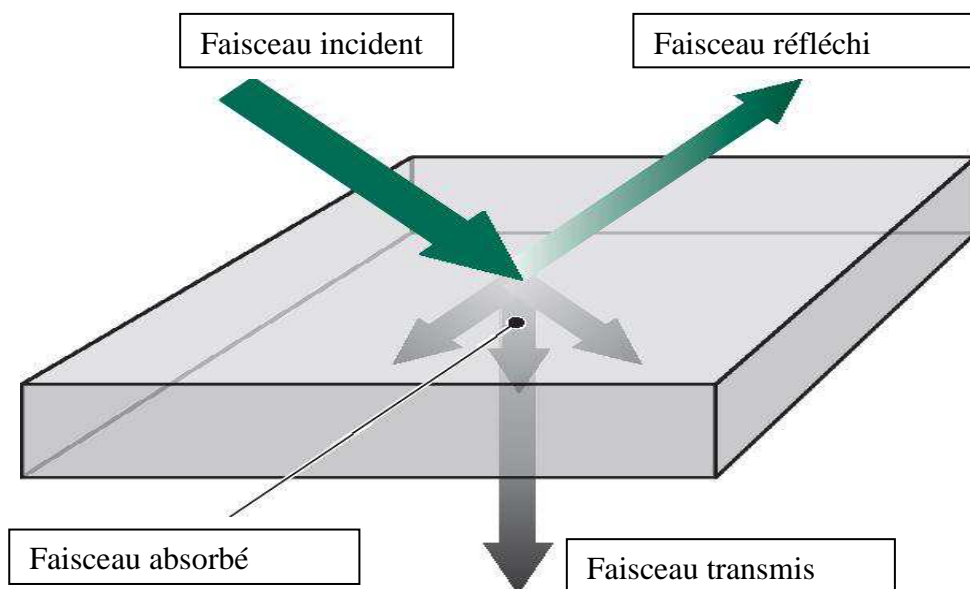
- L'absorption de la lumière dans le matériau ;
- Le transfert d'énergie des photons aux champs électriques ;
- La collecte des charges.

### I-4-1 Propriétés optiques

Un rayon lumineux formé de photons entrant en contact avec un matériau solide subit trois manifestations optiques simultanées figure (I-12).

- L'absorption
- La réflexion
- La transmission

Pour augmenter le rendement de la conversion photovoltaïque, il faut optimiser l'absorption du flux solaire tout en réduisant les pertes optiques par réflexion ou par transmission.



*Figure I-12: Les trois événements optiques d'un rayon lumineux.*

#### I-4-1-1 Absorption

Seule la lumière absorbée est restituée sous forme d'énergie électrique. Le matériau photovoltaïque utilise différemment toutes les longueurs d'ondes du spectre solaire, il se caractérise par sa réponse spectrale, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle il transforme l'énergie d'un rayonnement d'une longueur d'onde en énergie électrique. Cette efficacité dépend essentiellement des caractéristiques du matériau.

#### I-4-1-2 Transmission

Selon l'épaisseur du matériau, la transmission de la lumière est plus ou moins importante, les cellules au silicium cristallin à forte épaisseur (0,2 μm) ne transmettent pas de lumière, contrairement aux dispositifs en couche mince de type silicium amorphe (épaisseur < 1 μm) à travers lesquels la transmission n'est pas négligeable. Pour diminuer cette transmission, il est possible d'appliquer, à l'arrière d'un matériau « rugueux », une électrode présentant une propriété de réflexion adaptée (comme l'aluminium) qui piège la lumière dans le matériau par diffusion de la lumière réfléchi sur l'aluminium.

### I-4-1-3 Réflexion

La réduction de la réflexion de la lumière se fait en jouant sur les indices de réfraction des matériaux traversés, indices directement dépendants du taux de réflexion des matériaux figure (I-13), Plus la différence des indices de réfraction est élevée de part et d'autre d'une surface, plus elle est réfléchissante.

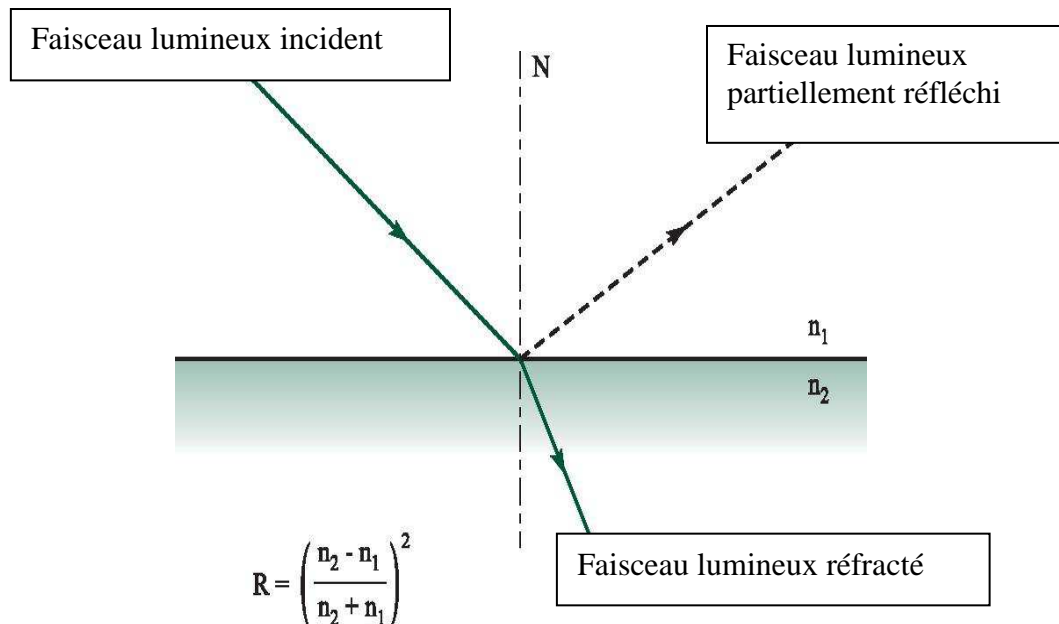


Figure I-13 : Taux de réflexion.

### I-5 Principe de fonctionnement

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi conducteurs. La cellule photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique, elle est constituée de deux couches minces d'un semi conducteur, ces deux couches sont dopés différemment. Pour la couche N, c'est un apport d'électrons périphériques et pour la couche P, c'est un déficit d'électrons. Les deux couches ainsi présentent une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi conducteur. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux figure (I-14). Une couche anti reflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée [5.6.7].

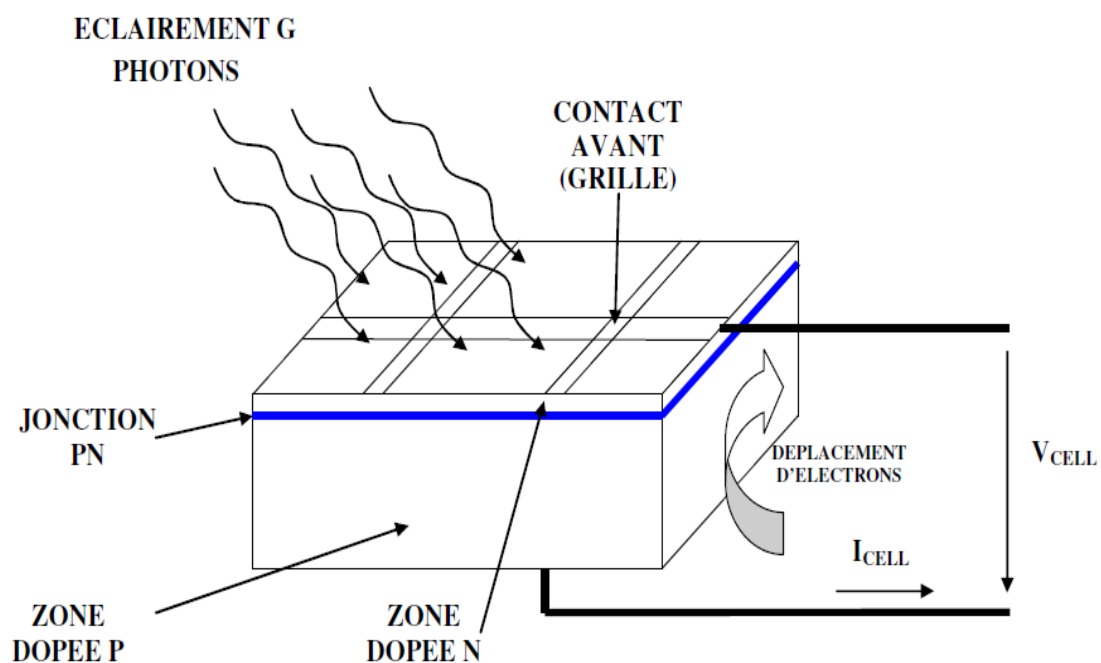


Figure I-14: Schéma élémentaire d'une cellule

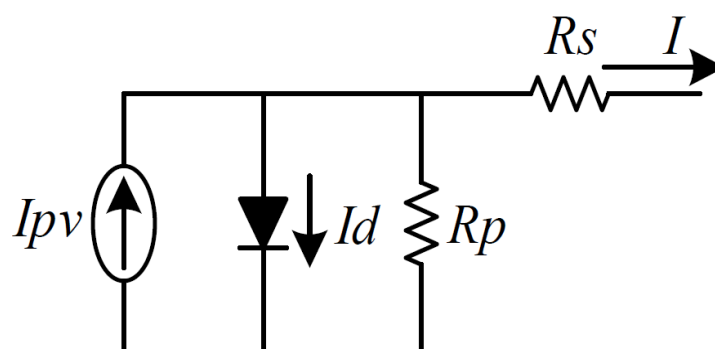
## I-6 MODELISATION DU MODULE PHOTOVOLTAIQUE

La modélisation des modules photovoltaïques passe nécessairement par un choix judicieux des circuits électriques équivalents. De nombreux modèles mathématiques sont développés pour représenter un comportement fortement non linéaire. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenants dans le calcul de la tension et du courant du module photovoltaïque.

On rencontre dans la littérature plusieurs modèles, le modèle photovoltaïque communément utilisé se compose d'une source de courant modélisant le flux lumineux, les pertes sont modélisées par deux résistances, une résistance shunt, une résistance série, et une diode pour la polarisation de la cellule et le phénomène de la recombinaison des porteurs minoritaires.

### I-6-1 Modèle à une diode

C'est le modèle sur lequel s'appuient les constructeurs en donnant les caractéristiques techniques de leurs cellules solaires. Le module photovoltaïque est représenté par un circuit électrique figure (I-15) qui se compose d'une source de courant modélisant le flux lumineux, les pertes sont modélisées par deux résistances, une résistance shunt  $r_p$ , une résistance série  $r_s$ , et une diode pour la polarisation de la cellule et le phénomène de la recombinaison des porteur minoritaires [7].



*Figure I-15: Modèle de la cellule solaire à une diode.*



L'équation caractérisant la courbe de variation courant –tension est donnée par

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(q \left( \frac{V + r_s \cdot I}{AKT} \right) - 1 \right) - \frac{V + r_s \cdot I}{r_p} \right] \quad (I.1)$$

$I_{ph}$  : Photo courant ;

$K$  : Constante de Boltzmann ;

$T$  : Température de la cellule ;

$V$  : Tension aux bornes de la cellule ;

$q$  : Charge de l'électron ;

$i_p$  : Courant dérivé par la résistance shunt ;

$i_s$  : Courant de saturation

$r_s$  : Résistance série due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière

$r_p$  : Résistance shunt est une conséquence de l'état de surface le long de la périphérie de la cellule.

$A$  : Facteur d'idéalité de la jonction de la diode D1

### 1-6-2 Modèle à deux diodes

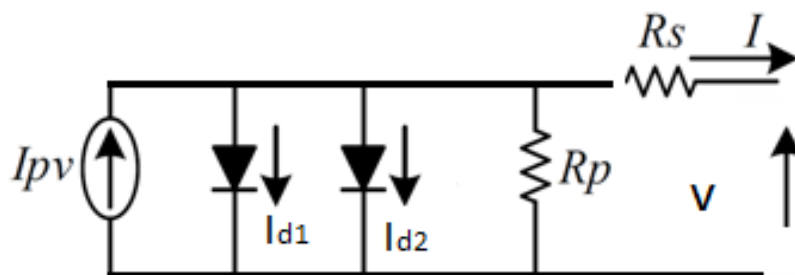


Figure I-16: Modèle de la cellule solaire à deux diodes.

Ce modèle est le plus proche du comportement réel de la cellule solaire, du fait qu'il tient compte du mécanisme du transfère des charges à l'intérieur de la cellule, la diode

supplémentaire permet de reproduire dans le schéma équivalent les effets chimiques de recombinaison des électrons [8].

Dans une cellule solaire réelle, la recombinaison représente une perte considérable, qui ne peut être adéquatement modélisés en utilisant une seule diode. L'examen de cette perte entraîne un modèle plus précis connu par le modèle à deux diodes figure (I-16). L'inclusion de la diode supplémentaire augmente les paramètres du modèle

$$I = I_{Ph} - I_{s_1} \left[ \exp q \left( \frac{V + r_s \cdot I}{A_1 KT} \right) - 1 \right] - I_{s_2} \left[ \exp q \left( \frac{V + r_s \cdot I}{A_2 KT} \right) - 1 \right] - \left( \frac{V + r_s \cdot I}{r_p} \right) \quad (I-2)$$

$I_{s_1}$  : Courant de saturation de la diode D1

$I_{s_2}$  : Courant de saturation de la diode D2

$A_1$  : Facteur d'idéalité de la jonction de la diode D1

$A_2$  : Facteur d'idéalité de la jonction de la diode D1

### I-7 Association des cellules (Générateur solaire)

La puissance disponible aux bornes d'une cellule est très faible .Il est donc nécessaire d'associer en série et en parallèle de telles cellule pour obtenir des modules de puissance supérieures adaptés aux applications courantes. Pour certaines applications individuelles ; il est possible d'utiliser un à plusieurs modules de quelques dizaines de cellules .Par contre pour des utilisations plus importantes les générateurs photovoltaïque sont groupés dans un champ de plusieurs modules.

#### I-7-1 Regroupement des cellules en séries

Une cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de faible puissance insuffisante en tant que telle pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait, réalisés par association, en série, d'un grand

nombre de cellules élémentaires. Une association de  $N_s$  cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV) [10].

Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, un tel regroupement est représenté par la figure (I-17).

Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble.

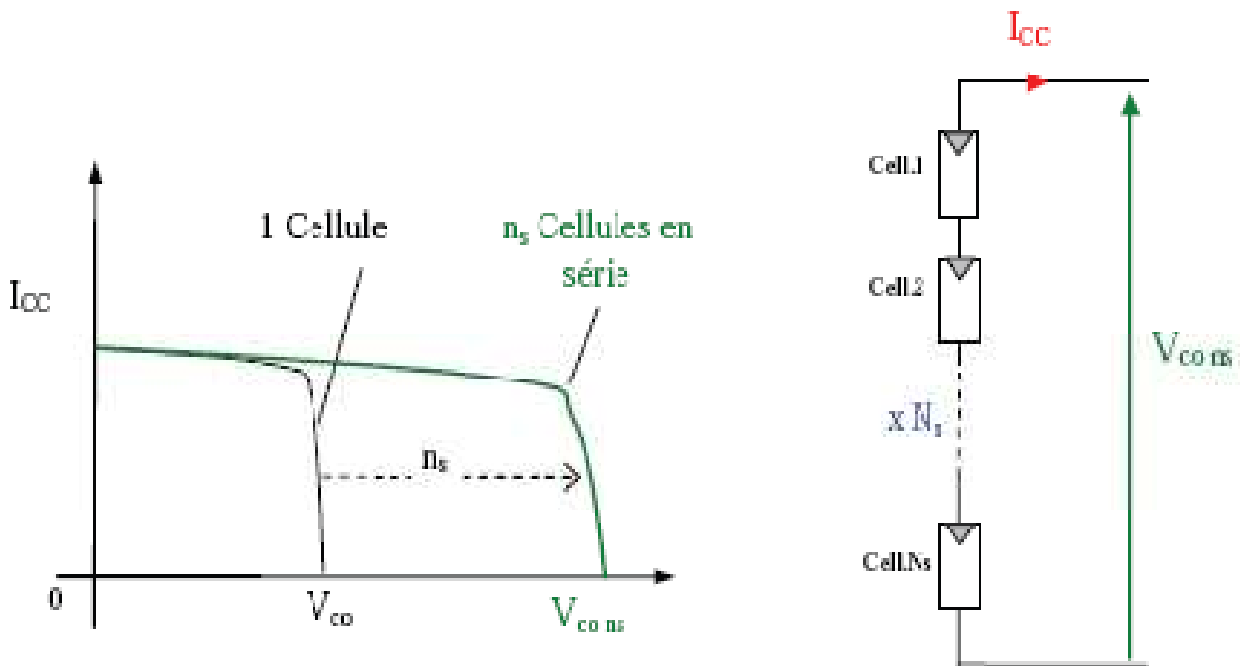


Figure I-17: Caractéristiques résultantes d'un groupement de ( $N_s$ ) cellules en série.

$I_{cc_{N_s}}$  : La somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série.

$V_{oc_{N_s}}$  : Courant de court-circuit de  $N_s$  cellules en série.

### I-7-2 Regroupement de cellules en parallèle

Une association parallèle de  $N_p$  cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants. la Figure (I-18) résume les caractéristiques électriques d'une association parallèle de  $N_p$  cellules [10].

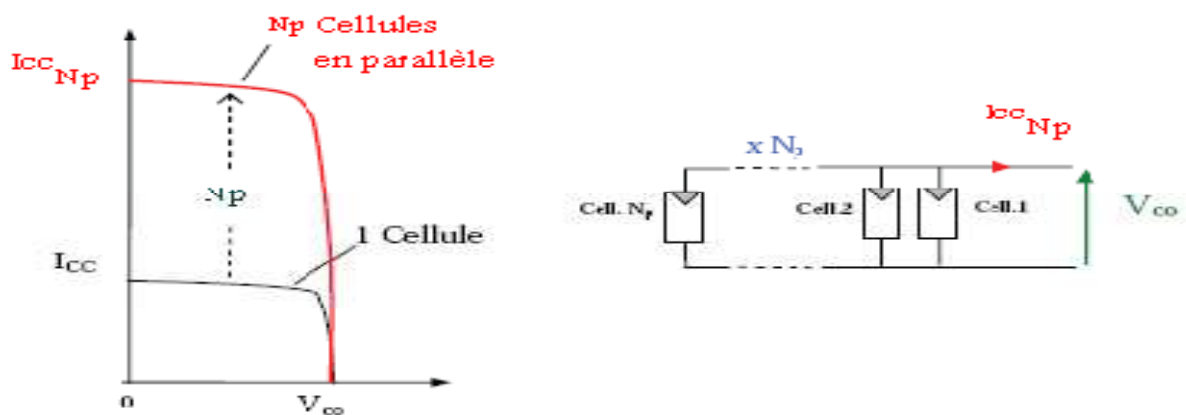


Figure I-18: Caractéristiques d'un groupement de  $N_p$  cellules en parallèle.

$I_{cc_{N_p}}$  : La somme des courants de court-circuit de  $N_p$  cellules en parallèle.

$V_{oc_{N_p}}$  : Tension du circuit ouvert de  $N_p$  cellules en parallèle.

### I-8 Modèle mathématique du module photovoltaïque

Pour obtenir des modules photovoltaïques avec des puissances exploitables pour certaines applications, nous ne pouvons associer que des cellules identiques pour avoir un module fiable, et des modules identiques pour obtenir un champ photovoltaïque stable comme l'indique la figure

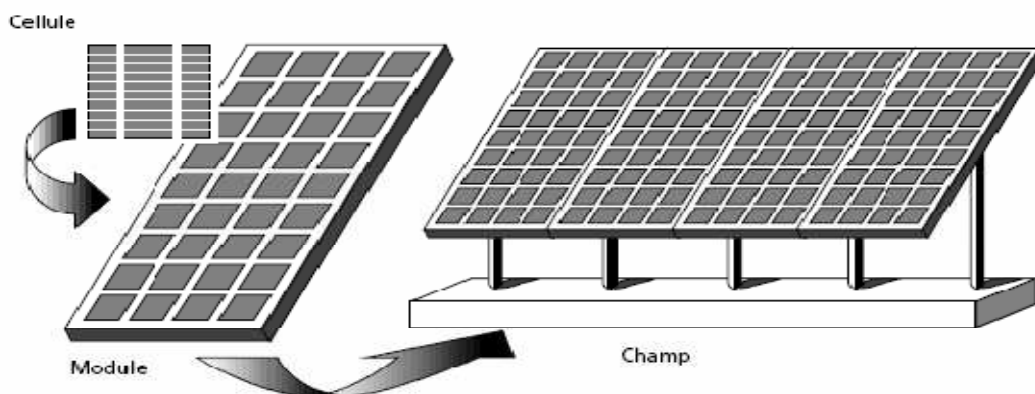


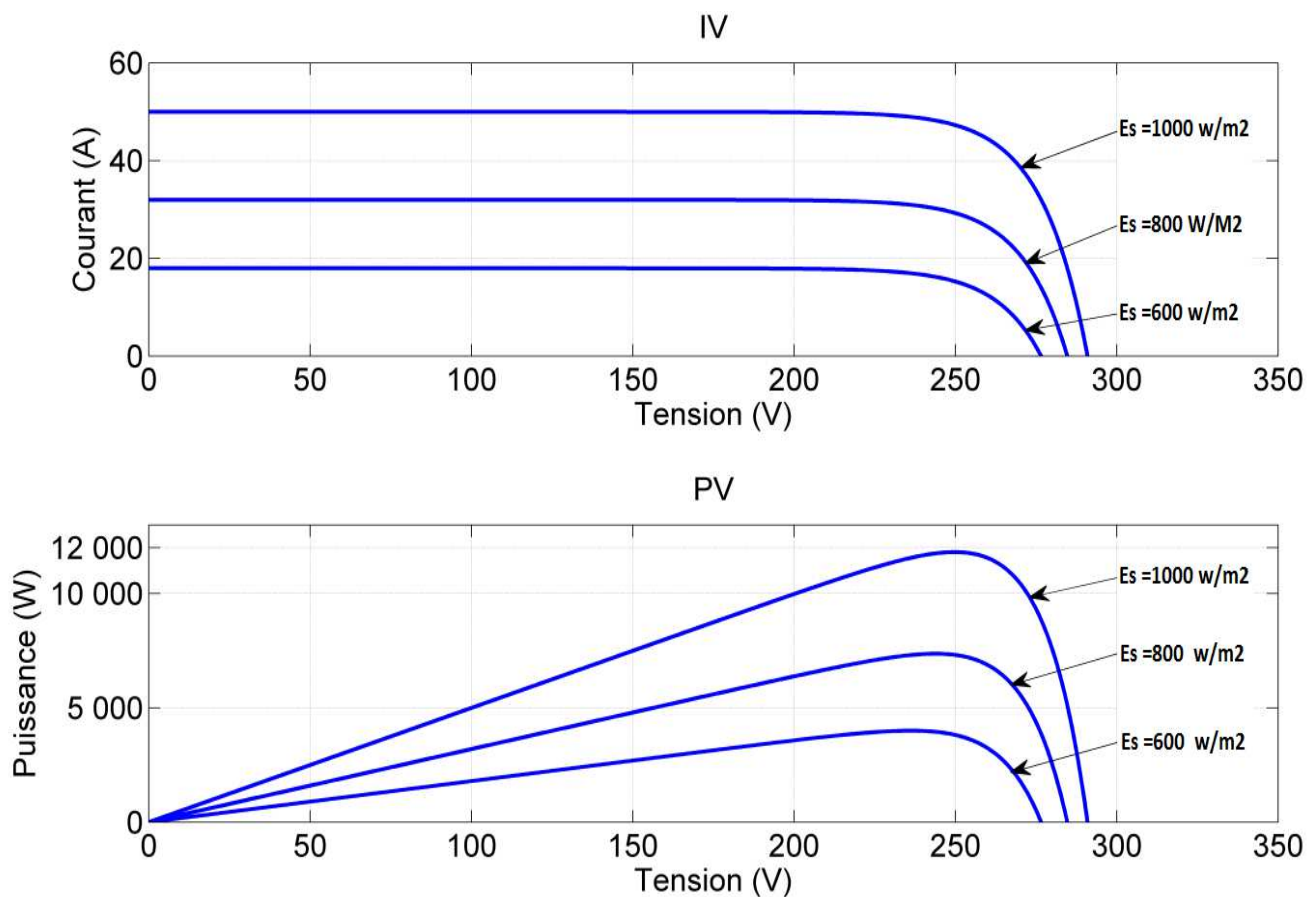
Figure I-19: Composantes d'un générateur de modules photovoltaïques [10].

Le model mathématique généralisé d'un GPV communément utilisé avec toutes les pertes causés, par l'association des panneaux en série et en parallèle sont incluses, est obtenue par l'équation suivante(I.3).

$$I = N_P I_{Ph} - N_P I_S \left[ e^{\frac{(N_S V + r_s I (\frac{N_S}{N_P}))}{N_S K T}} - 1 \right] - \frac{N_S V + r_s I (\frac{N_S}{N_P})}{r_p (\frac{N_S}{N_P})} \quad (I.3)$$

Ou :  $N_p$  : Nombre de panneau connectés en parallèle.

$N_s$  : Nombre de panneau connectés en série.



*Figure I-20: Caractéristiques résultantes d'un groupement de (Ns) modules en série et (Np) modules en parallèle.*

### I-9 Effets de l'ombre

Le courant d'un panneau ou d'un champ est limité par la plus mauvaise cellule ou du plus mauvais panneau.

L'ombre va jouer le même effet: si une seule cellule de la chaîne est à l'ombre, le courant total sera limité par le courant de cette cellule. Il est donc impératif d'éviter au maximum les ombres provoquées par les obstacles proches. Un piquet devant un champ photovoltaïque pourra considérablement réduire la puissance, si son ombre balaie le champ durant la course du soleil.

Un autre effet beaucoup plus insidieux apparaît lorsqu'une cellule est ombrée, le reste du panneau étant au soleil. Cet effet est appelé Hot Spot (point chaud) et il peut entraîner la destruction de la cellule ombrée. Pour remédier à ce problème, on monte en parallèle avec chaque panneau, une ou deux diodes by-pass, en opposition, c'est-à-dire avec la cathode au plus du panneau, la tension inverse du panneau ne peut alors pas dépasser la tension directe des diodes.

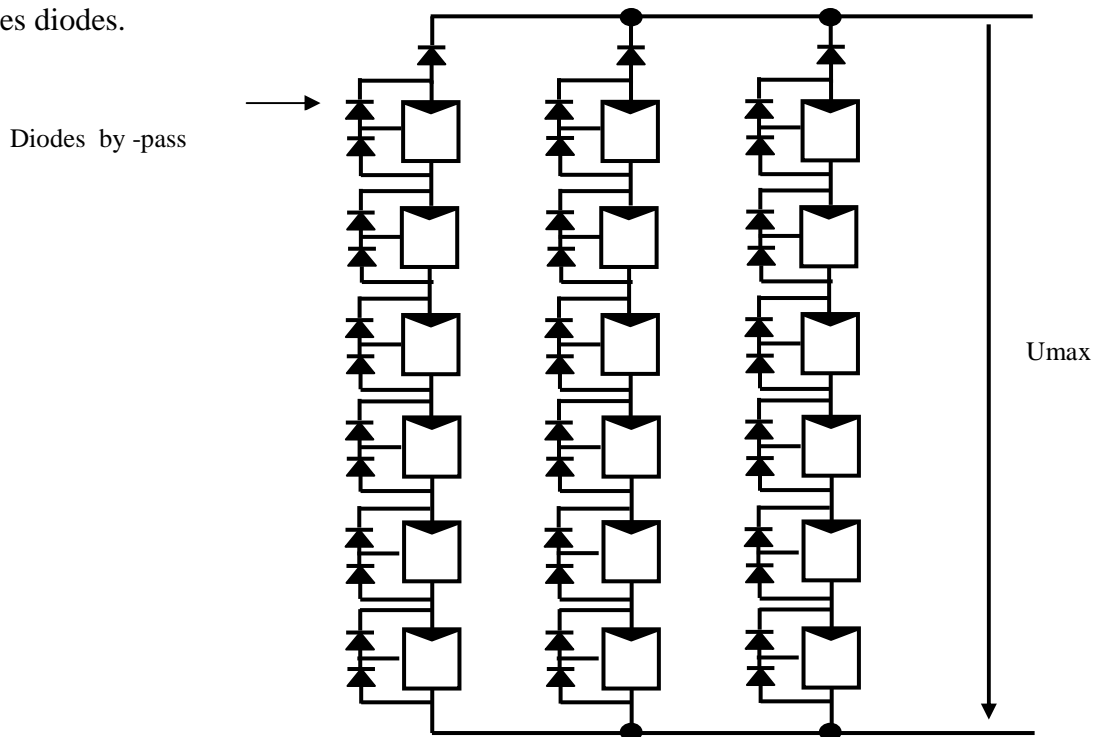


Figure I-21: Chaîne de panneaux protégés

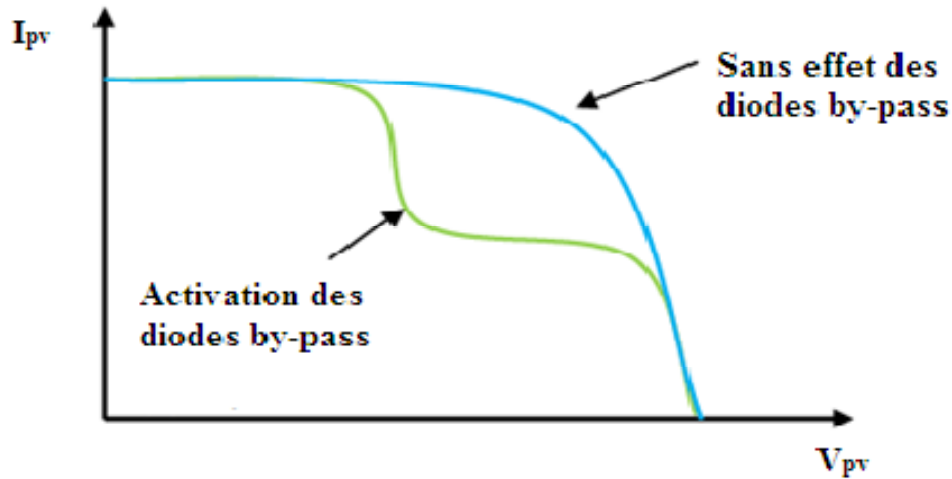


Figure I-22 : Effet de la diode by-pass sur la caractéristique I(V) d'un panneau photovoltaïque.

I-10 Résultats de simulation et discussion

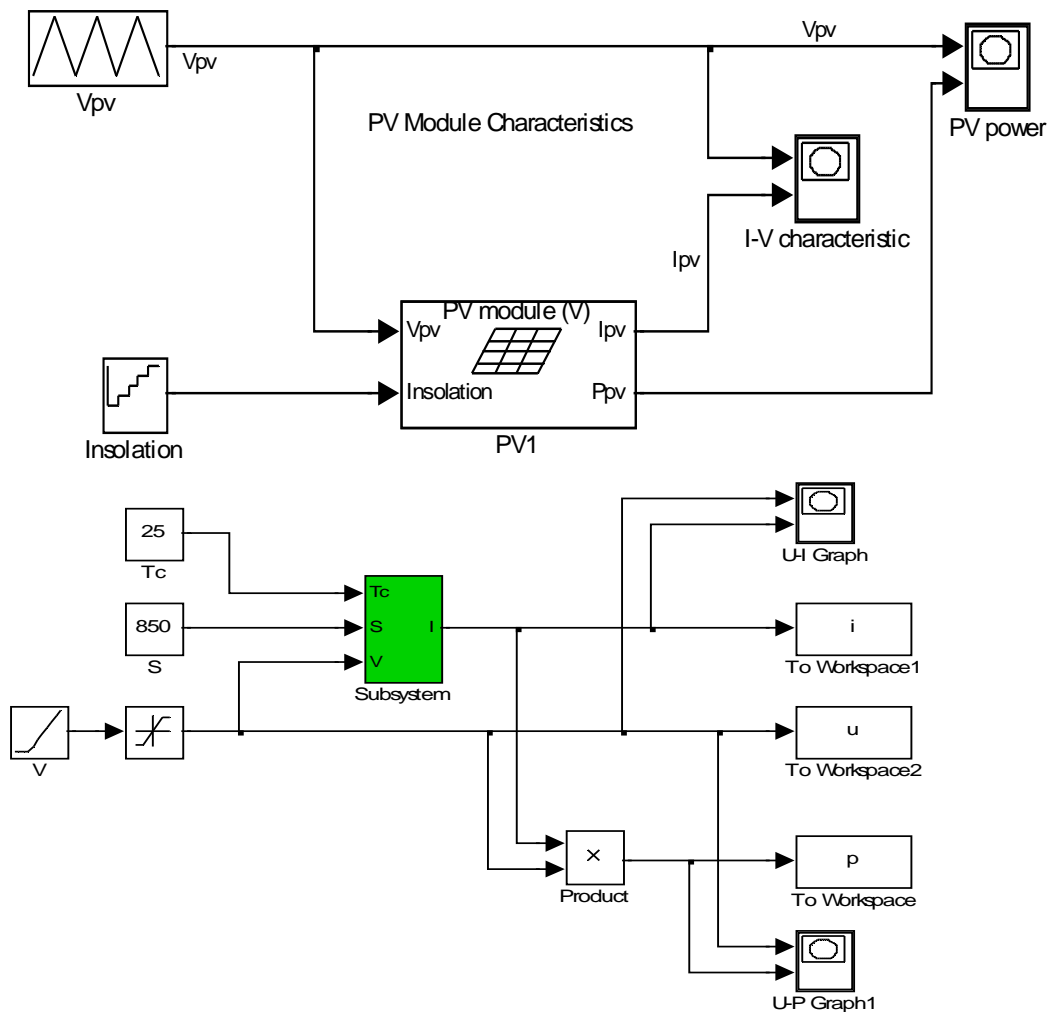


Figure I-23: Schéma synoptique de conversion photovoltaïque.

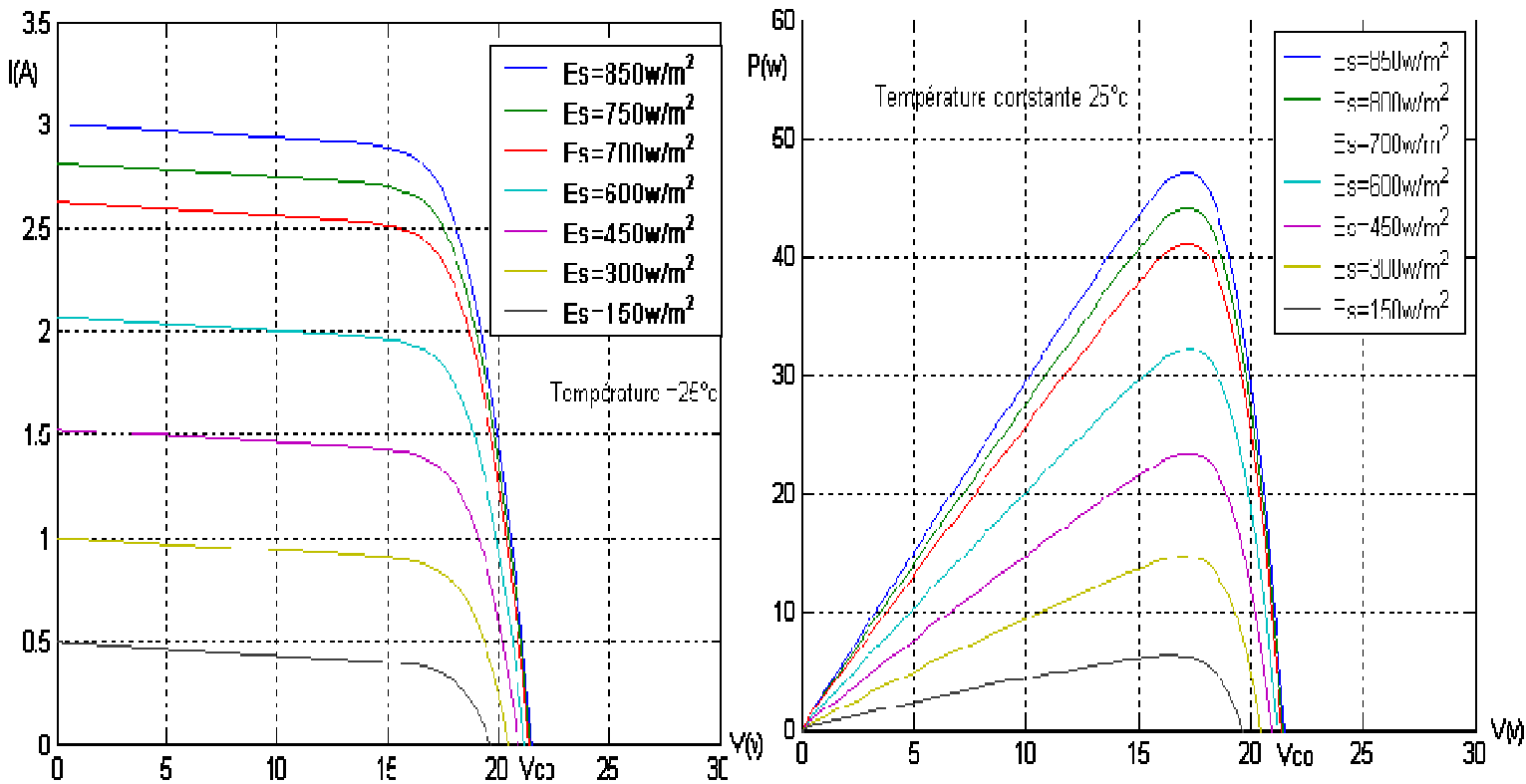


Figure I-24: Caractéristique I (V) et P(V) d'un générateur photovoltaïque pour différents Éclairements et température constante 25°C.

Le courant électrique produit par la cellule photovoltaïque est donnée par l'équation suivante

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(q \frac{V + r_s \cdot I}{AKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + r_s \cdot I}{r_p}$$

C'est une équation implicite dont la résolution  $I=f(V)$  fait appel à des méthodes d'approximations successives [11]. On définit deux points important sur cette courbe.

Le courant de court-circuit, lorsque  $V=0$ , vaut  $I=I_{ph}$

La tension de circuit ouvert, lorsque  $I=0$ , s'écrit

$$V_{co} = \frac{KT}{q \cdot \log\left[\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right]} \quad (I.4)$$



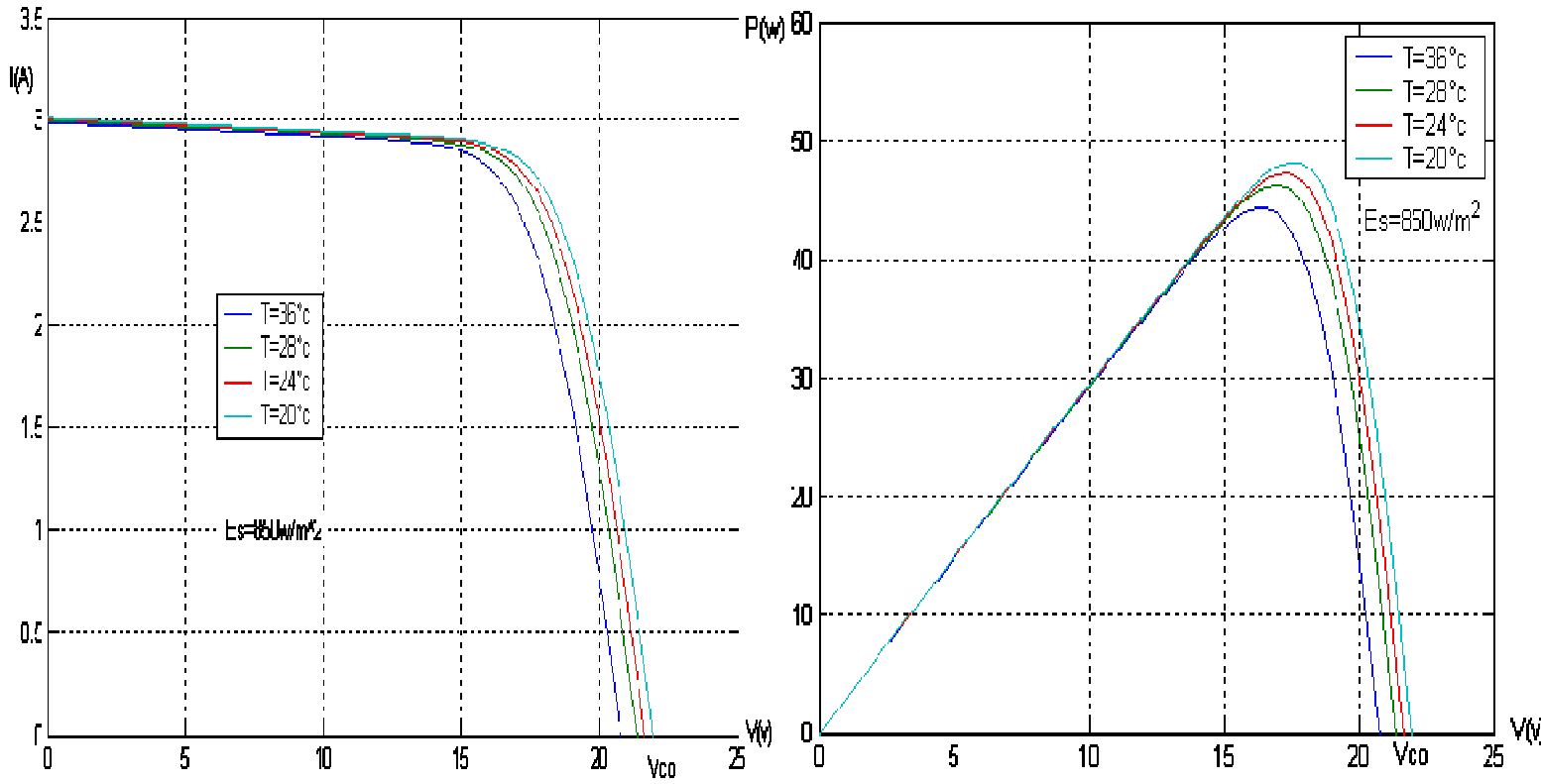


Figure I-25: Influence de la température sur la caractéristique  $I(V)$  et  $P(V)$  d'un GPV

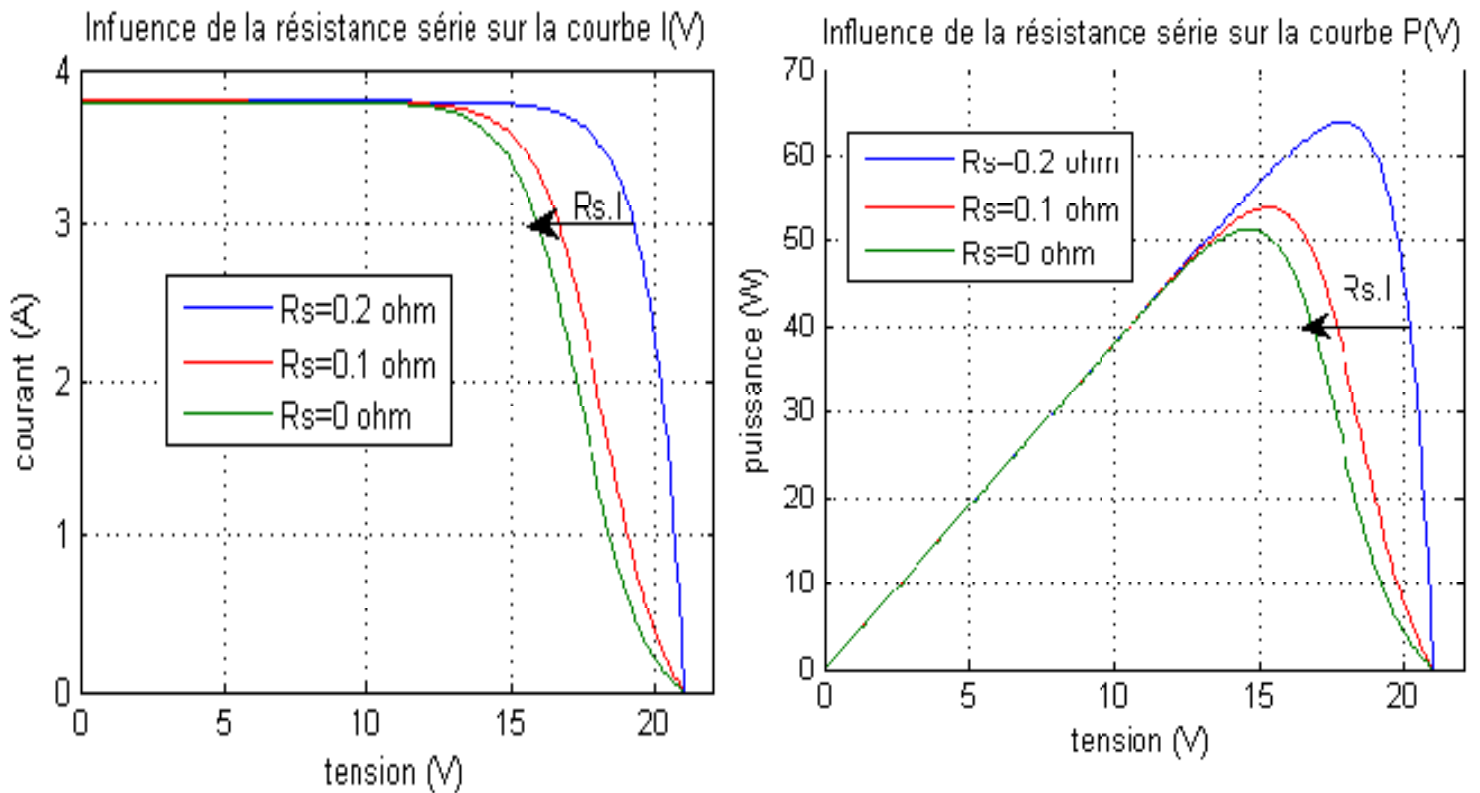
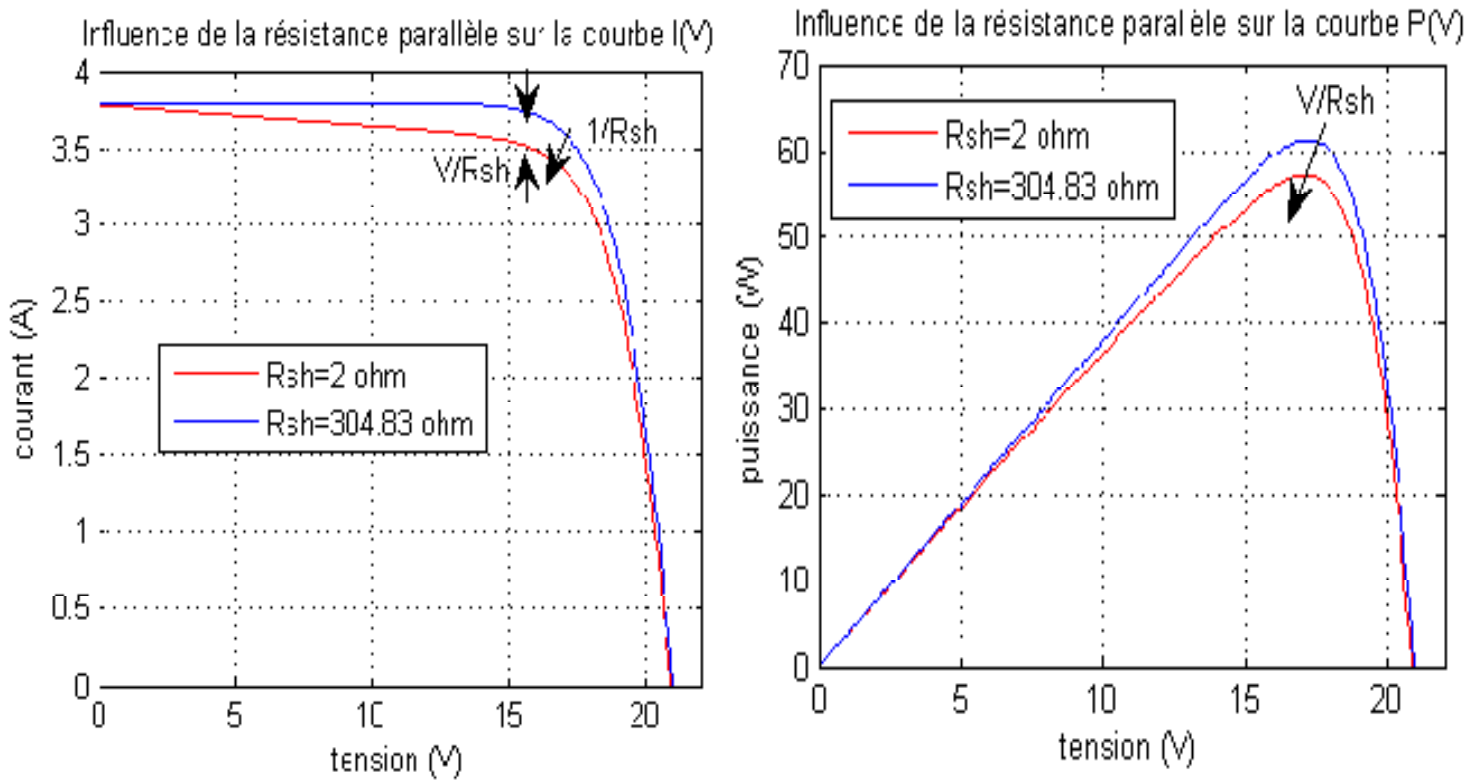


Figure I-26: Influence de la résistance série sur la caractéristique  $I(V)$  et  $P(V)$  d'un GPV.



**Figure I-27: Influence de la résistance shunt sur la caractéristique  $I(V)$  et  $P(V)$  d'un GPV.**

L'effet le plus important et l'influence de la température qui demandera des choix importants dans la conception des panneaux et des systèmes. L'augmentation de la température Figure (I- 25) entraînerait une diminution de la puissance maximale disponible et provoque aussi une diminution de la tension, une augmentation légère du courant et par conséquent une diminution du rendement.

La variation de la résistance série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone où la cellule se comporte comme un générateur de tension la figure (I-26) montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique de la cellule photovoltaïque, lorsque la résistance augmente, le courant de court-circuit diminue et la tension en circuit ouvert reste pratiquement constante

La résistance shunt est une résistance qui prend en compte les fuites inévitables du courant qui intervient entre les bornes de la cellule. L'influence de cette résistance sur la caractéristique tension-courant figure (I-27) se traduit par une légère diminution de la tension en circuit

ouvert et une augmentation de la pente de la courbe  $I(V)$  de la cellule dans la zone où cette dernière se comporte comme un générateur de courant. La puissance fournie par un générateur photovoltaïque varie avec sa résistance parallèle. Lorsque la résistance shunt est élevée plus la puissance est importante.

## **I-11 CONCLUSION**

L'électricité photovoltaïque est obtenue par transformation directe de la lumière du soleil en électricité. L'énergie solaire est la source d'énergie la plus prometteuse et la plus puissante parmi les énergies renouvelables. Dans ce chapitre, nous avons commencé notre travail par la présentation des différents types d'énergies renouvelables ainsi que les bases indispensables à la compréhension du sujet, nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, et son application dans le domaine photovoltaïque. Nous avons ensuite donné un aperçu technologique sur les matériaux de conversion et le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïque. D'après notre étude théorique, nous avons rencontré dans la littérature plusieurs modèles que leurs précisions restent tributaire à la modélisation mathématiques des différents phénomènes physiques intrinsèques intervenant dans le processus de production d'électricité, nous nous sommes intéressé par le modèle à une diode. Les caractéristiques principales ( $I-V$ ) et de puissance en fonction du courant et de la tension sous différents éclairagements et de températures ont été établies et représentées graphiquement, permettant d'estimer la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque dans les conditions de son fonctionnement. Puis nous avons abordé les différents paramètres limitant leurs rendements et nous avons achevé notre chapitre par les travaux de simulation sur

Les caractéristiques principales des cellules.

Influence de la température et de l'éclairage sur ces caractéristiques.

Influence des paramètres internes sur les caractéristiques de la cellule (résistance série, shunt).

## Chapitre II:

# Gestion d'énergie et Architecture Des Convertisseurs Pour Un Système Photovoltaïque

## II-1 INTRODUCTION

La caractéristique  $I(V)$  du générateur photovoltaïque dépend de l'éclairement solaire et de la température; ces facteurs climatiques influent fortement sur le rendement et entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur photovoltaïque et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandés permettant de poursuivre le point de puissance maximale. En effet ce problème de poursuite a fait jusqu'à nos jours l'objet de plusieurs recherches, aussi plusieurs méthodes ont été élaborées et utilisées.

Le travail présenté dans ce chapitre porte en premier lieu sur l'évolution de la technologie des convertisseurs pour les installations photovoltaïques, dans divers domaines et pour différentes applications, ainsi que la gestion de l'énergie par les algorithmes de poursuite les plus utilisés. Le coût et la fiabilité des convertisseurs sont les aspects centraux de la rentabilité économique de l'énergie photovoltaïque, c'est pourquoi une attention particulière a été donnée au hacheur dévolteur- survolteur comme étage d'adaptation entre la source et la charge. Ensuite, nous avons abordés l'étude détaillée de l'onduleur de tension trois niveaux type NPC dont le but d'avoir une tension de sortie plus proche de la sinusoïde que celle issue de l'onduleur à deux niveaux, et de bien exploiter le champ photovoltaïques à son point de puissance maximal. Parce que le rôle de l'onduleur multi niveau ne se limite pas à transformer le courant continu généré par le panneau photovoltaïque en courant alternatif de tension et de fréquence souhaitées, mais consiste également à augmenter et contrôler la tension de sortie.

## II-2 LE FONCTIONNEMENT OPTIMAL DU GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE

La conception de systèmes photovoltaïques optimisée est assez difficile. En effet, coté source pour un générateur photovoltaïque, la production de puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température. Pour que le générateur fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est d'introduire un convertisseur statique qui jouera le rôle d'adaptateur source-charge dans des conditions données, c'est-à-dire au point de puissance maximale de la caractéristique puissance en fonction de la tension représentée à la figure (II-1). Pour assurer le fonctionnement d'un générateur PV à son point de puissance maximale (PPM), des contrôleurs MPPT sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés à minimiser l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques [12-13]. La puissance de fonctionnement du générateur PV est facilement calculée à partir du produit tension-courant. Par contre, la détermination de la puissance maximale de référence est plus délicate vue que cette dernière est fonction des conditions climatiques (éclairage, température). Cette référence, étant alors non constante et étant caractérisée par une fonction non linéaire, rend le fonctionnement à puissance maximale plus difficile à réaliser. Afin de surmonter ces difficultés, plusieurs méthodes sont souvent adoptées telles que :

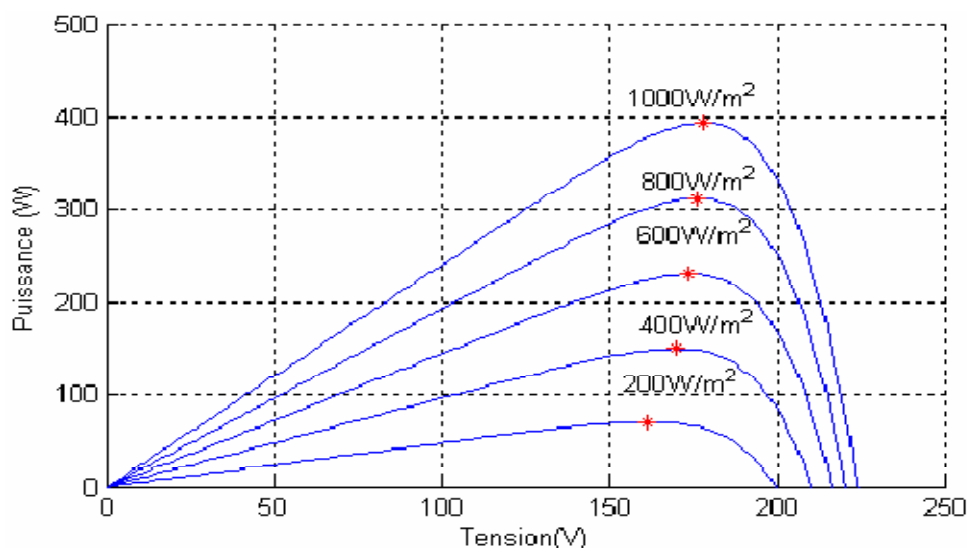


Figure II-1: Courbe de puissance maximale de la caractéristique P (V).

### II-2-1 Méthode de la dérivée de la puissance

Cette méthode est basée sur la recherche de l'extremum de la courbe de puissance  $P_V = f(V_p)$  obtenue directement de la caractéristique du générateur photovoltaïque, l'action de la commande du convertisseur permet de changer la résistance apparente vue du générateur et par conséquent on aura une variation de la puissance débité par ce dernier .Le générateur travaille à son point de puissance maximale (PPM) lorsque la dérivée de la puissance par rapport à la tension s'annule, [14].

C'est-à-dire lorsque  $\frac{dP_V}{dV_p} = 0$

### II-2-2 Méthode de recherche analogique

Dans cette méthode, on impose une tension initiale  $V$  à laquelle sera superposée une petite variation  $\Delta V$  de forme sinusoïdale. La puissance  $P$  obtenue présente aussi une variation  $\Delta P$ .

Trois cas peuvent avoir lieu:

1. Lorsque  $V$  se trouve à gauche du point de fonctionnement optimal, le produit  $\Delta V \Delta P$  est supérieur à zéro ( $\Delta V \Delta P > 0$ ), il faut alors augmenter la valeur de  $V$ .
2. Lorsque  $V$  se trouve à droite du point de fonctionnement optimal, le produit  $\Delta V \Delta P$  est inférieur à zéro ( $\Delta V \Delta P < 0$ ), il faut alors réduire la valeur de  $V$ .
3. Enfin, au point de fonctionnement optimal, le produit  $\Delta V \Delta P$  s'annule ( $\Delta V \Delta P \cong 0$ ), la tension  $V$  représente alors la tension optimale. Cette stratégie de recherche convient particulièrement si les circuits de commande et de réglage sont réalisés analogiquement.

Le positionnement du point de fonctionnement se fera aussi par incrémentation ou décrémentation de la tension aux bornes du générateur photovoltaïque [14,15].

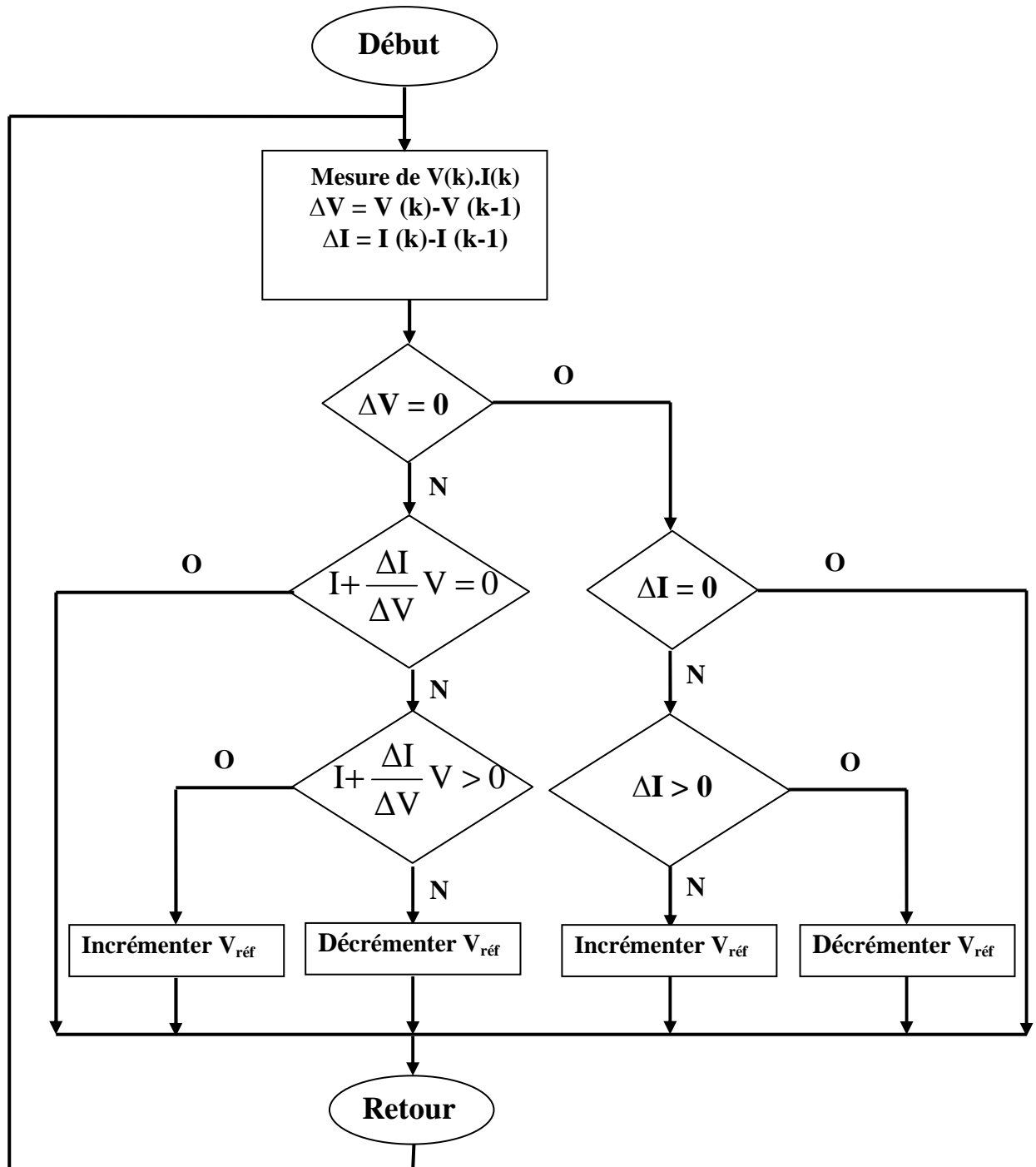


Figure II-2: Organigramme de l'algorithme incrémentation ou décrémentation de la tension [15].

### II-2-3 Méthode de la perturbation et l'observation (P&Q)

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  $V_{pv}$ , puis l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV [15]. L'organigramme de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P&O) est donné par la Figure II-2.

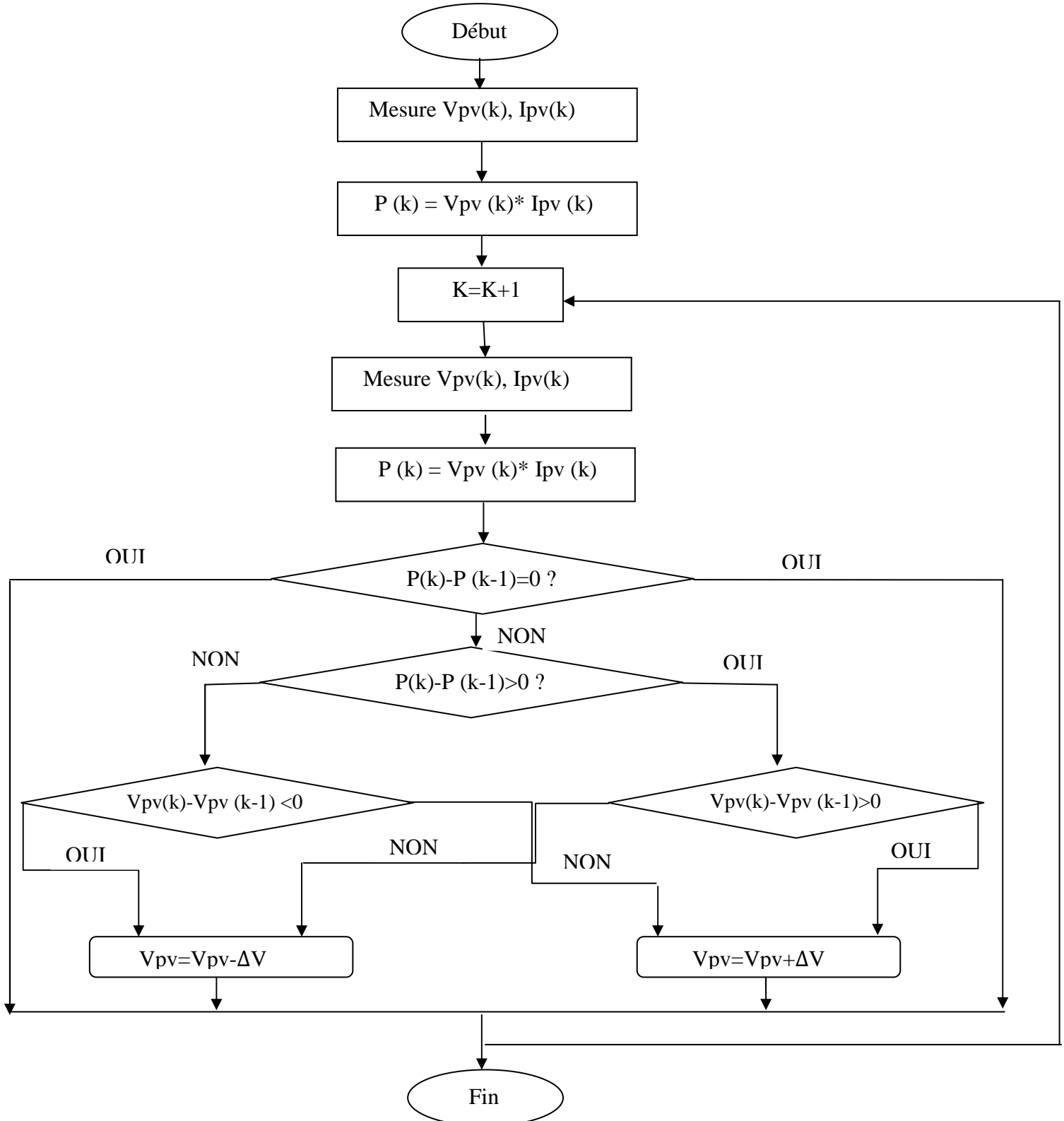


Figure II-3: Organigramme de l'algorithme perturbation et observation [15].

A chaque cycle,  $V_{pv}$  et  $I_{pv}$  sont mesurés afin de calculer  $P_{pv}(k)$ . Cette valeur de  $P_{pv}(k)$  est comparée à la valeur  $P_{pv}(k-1)$  calculée au cycle précédent. Si la puissance de sortie a augmentée,  $V_{pv}$  est ajustée dans la même direction que dans le cycle précédent. Si la puissance de sortie a diminué,  $V_{pv}$  est ajustée dans la direction opposée que dans le cycle précédent,  $V_{pv}$  est ainsi perturbée à chaque cycle de MPPT. Quand le point de puissance maximale est atteint,  $V_{pv}$  oscille autour de la valeur optimale  $V_{pv-mp}$ . L'inconvénient de la technique de P&O réside dans le cas de changement rapide des conditions atmosphériques, le point de fonctionnement peut déplacer dans la direction fautive. Ainsi, l'algorithme de P&O continuera à déplacer le point de fonctionnement du convertisseur plus loin du point réel de puissance maximale, et il y aura plus de puissance perdue. Cet ajustement incorrect continuera jusqu'à ce que le changement de l'éclairement ralentisse ou se stabilise. La solution est de vérifier n'importe quel changement rapide d'irradiation en vérifiant la valeur de  $dI_{pv} / dt$  et en neutralisant l'ajustement de tension si le changement de  $dI_{pv} / dt$  dépasse une certaine limite.

### **II-3 Architecture des onduleurs raccordés au réseau**

Les principales architectures utilisées pour un onduleur photovoltaïque connecté au réseau sont :

L'architecture à onduleur centralisé.

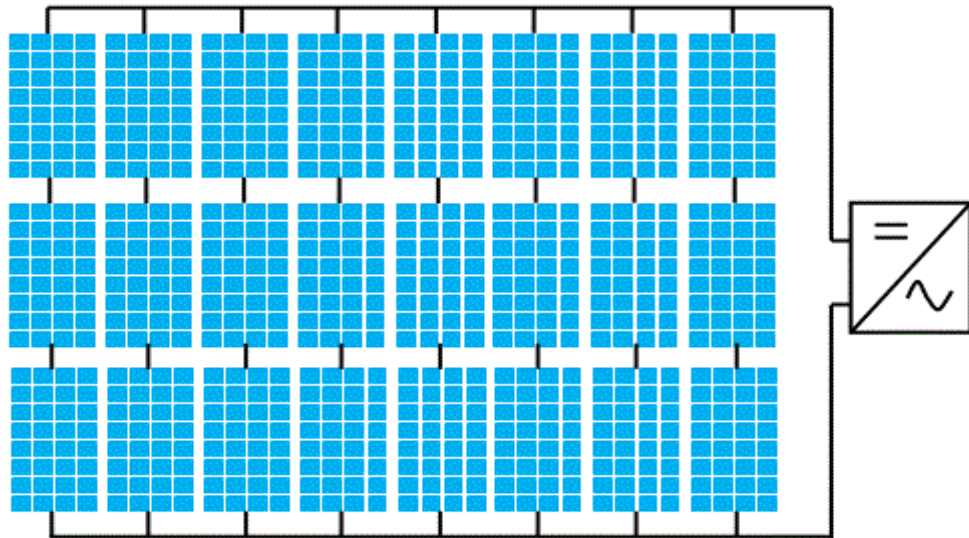
L'architecture à onduleurs string.

L'architecture à onduleurs master/slave

#### **II-3-1 L'architecture à onduleur centralisé.**

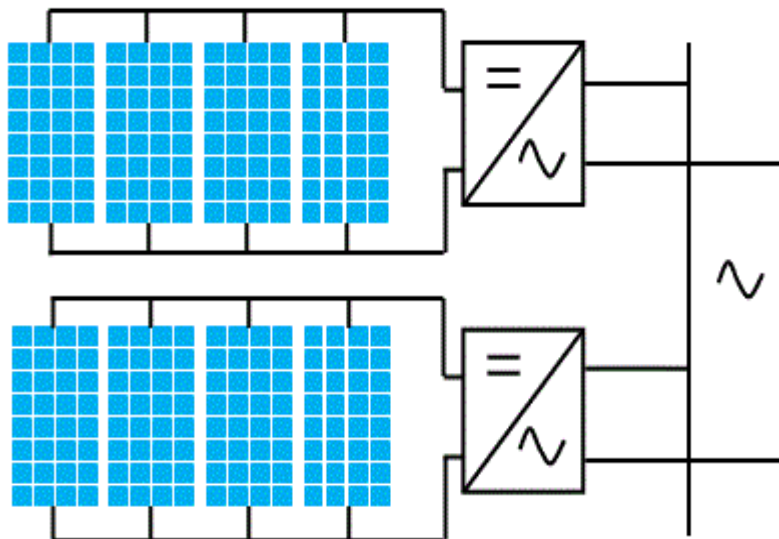
L'architecture à onduleur centralisé consiste à raccorder directement les branches de modules constituant un champ photovoltaïque à un ou plusieurs onduleurs centraux.

Dans le cas d'un onduleur central unique, le champ photovoltaïque est directement connecté à l'onduleur (figure II-4).



*Figure II-4: Architecture à onduleur centralisé*

Dans le cas de plusieurs onduleurs centraux, le champ photovoltaïque est divisé en sous champs disposant d'onduleurs propres, connectés en parallèle sur le réseau (figure II-5).



*Figure II-5: Architecture à plusieurs onduleurs centralisés*

### II-3-2 Architecture à onduleurs string.

L'architecture à onduleurs « string », consiste à monter un onduleur sur chaque branche de modules photovoltaïques d'une installation, les différents onduleurs étant connectés en parallèle sur le réseau (figure II-6).

Ce concept, possède plusieurs avantages. Il permet en effet de simplifier le câblage de la partie continu de l'installation photovoltaïque et facilite l'accès et le contrôle des onduleurs, de plus, lorsqu'un onduleur est défaillant, l'installation continue à fonctionner par l'intermédiaire des autres onduleurs.

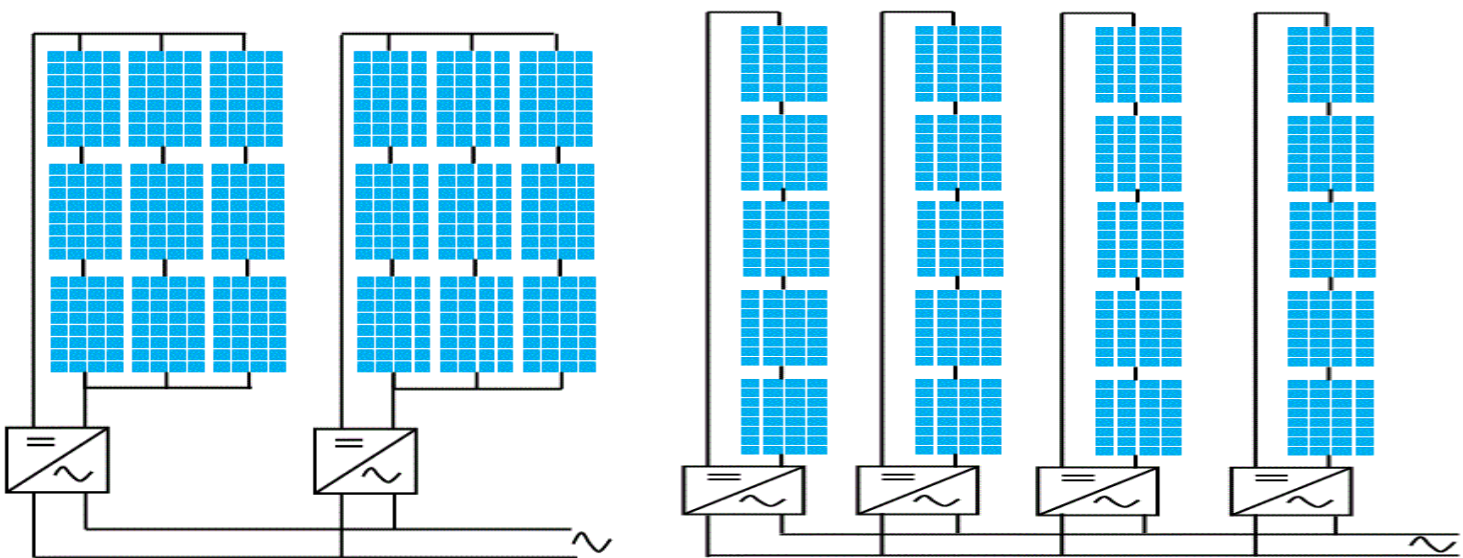


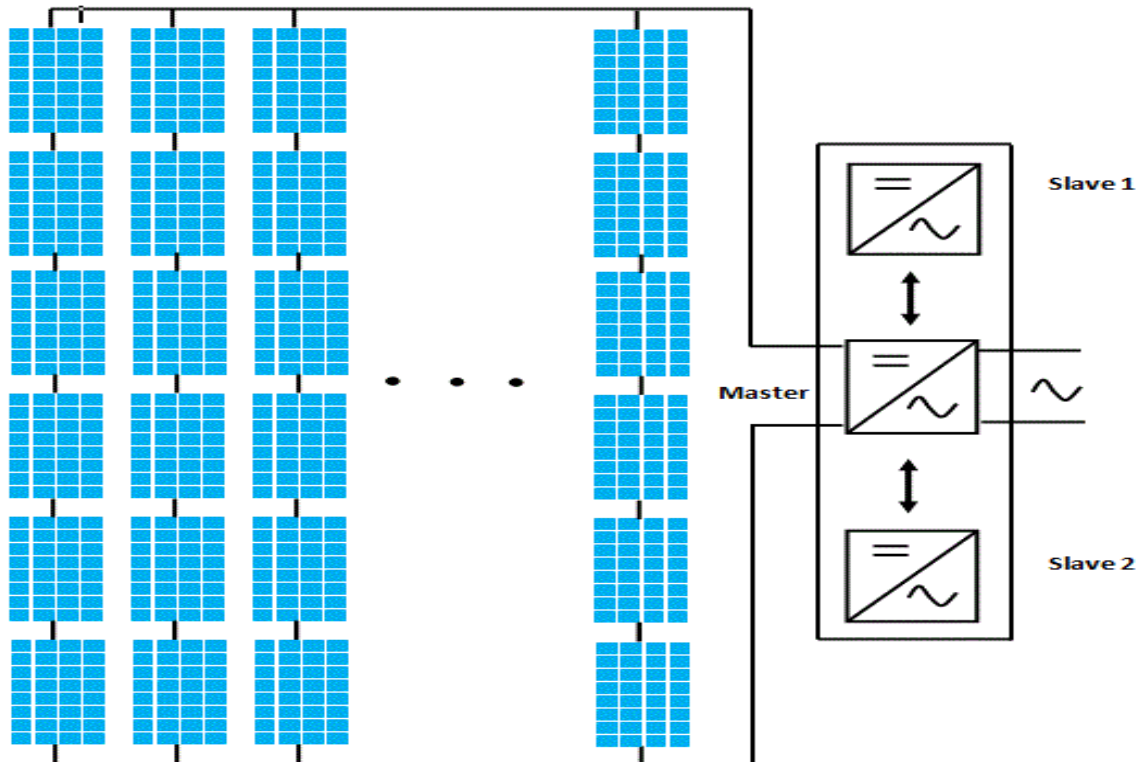
Figure II-6: Architecture à onduleurs string.

### II-3-3 Architecture à onduleurs master/slave.

L'architecture à onduleurs master/slave, consiste à connecter le champ photovoltaïque à un ensemble d'onduleurs couplés l'un à l'autre par une relation de « maître/esclave » : L'onduleur « master », est sollicité en permanence pour convertir l'énergie photovoltaïque, alors que les onduleurs « slave » n'entrent en action qu'au moment où la puissance délivrée par le champ n'est plus adaptée au travail de l'onduleur « master ».figure (II-7).

Ce concept permet d'optimiser le nombre d'onduleurs en service en fonction de la puissance appelée, car chaque onduleur travaille à un niveau de puissance pour lequel son rendement est

le plus élevé. L'inconvénient majeur est que l'onduleur « master » est toujours fortement sollicité, accroissant ainsi son risque de panne.



*Figure II-7: Architecture à onduleur master/slave.*

#### II-4 ETUDE DES CONVERTISSEURS

Dans un système de conversion des énergies renouvelables, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu en courant alternatif et inversement. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les énergies renouvelables: les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs [16].

Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement: autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Les hacheurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC.

Il existe trois types d'hacheur:

- hacheur dévolteur (ou série): ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est inférieur à celle de l'entrée.
- hacheur survolteur (ou parallèle): ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est supérieur à celle de l'entrée.
- hacheur dévolteur survolteur: ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est inférieur ou supérieur à celle de l'entrée.

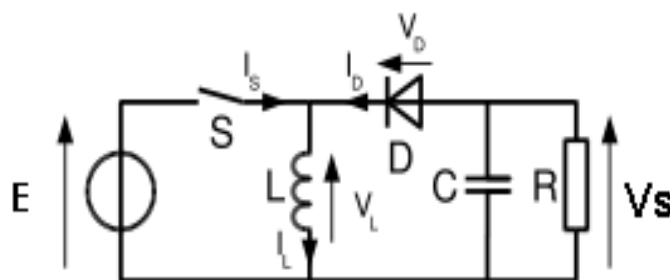
Dans notre étude on va se limité uniquement par deux types de convertisseurs proposés dans notre chaine de conversion photovoltaïque, il s'agit d'un hacheur (dévolteur survolteur) et l'onduleur NPC à trois niveaux.

#### II-4-1 Hacheur

Avec une alimentation alternative, un simple transformateur permet de changer la tension d'un niveau à un autre niveau .Mais dans le cas d'une tension continu, on doit avoir recours à une approche bien différente, en utilisant un hacheur.

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu permettant de délivrer une tension continue variable à partir d'une source de tension continue constante.

#### II-4-2 Hacheur dévolteur survolteur



*Figure II-8 : Schéma de base d'un hacheur dévolteur survolteur*

On admet l'hypothèse que la conduction est continue, c'est-à-dire que l'inductance (L) à une valeur suffisante pour que le courant  $I_L(t)$  ne s'annule jamais.

Le fonctionnement est divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur (S).

### II-4-2-1 L'état passant

L'interrupteur (S) est fermé entre les instants :

$$(t=0 \text{ et } t=\alpha T) \text{ alors } I_L = I_S \text{ et } V_S = E$$

La diode D est bloquée car la tension à ses bornes est :

$V_D = -E + V_S < 0$  donc  $I_D = 0$  Au cours de cette phase de fonctionnement, l'inductance accumule de l'énergie ; cette énergie est fonction de la durée de fermeture de (S).

$$E = L \frac{dI_L}{dt} \text{ Pour } 0 \leq t \leq \alpha T \quad (\text{II-1})$$

$$I_L = I_S = \frac{E}{L} t + I_{MAX}$$

$$I_{MAX} = I_L(\alpha T) = \frac{E}{L} \alpha T + I_{MIN} \quad (\text{II-2})$$

L'ondulation du courant dans l'inductance

$$\Delta I = I_{MAX} - I_{MIN} = \frac{E}{L} \alpha T \quad (\text{II-3})$$

### II-4-2-2 L'état bloqué

L'interrupteur (S) est ouvert, entre les instants ( $t=\alpha T$  et  $T$ ) alors  $I_S = 0$  Le courant  $I_L(t)$  ne peut pas subir de discontinuité, il force la diode en courant, elle devient passante, alors

$$I_D = I_L \text{ et } V_L = V_S$$

$$-V_S = L \frac{dI_L}{dt} \text{ Pour } \alpha T \leq t \leq T$$

$$I_L = I_D = \frac{-V_S}{L} (t - \alpha T) + I_{MAX} \quad (\text{II-4})$$

Pendant cette phase, l'inductance restitue l'énergie accumulée, vers la capacité et la charge

$$I_{MIN} = I_L(t=T) = \frac{-V_S}{L} (T - \alpha T) + I_{MAX}$$

### II 4-2-3 Tension de sortie

$$V_S = -E \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (\text{II-5})$$

La tension de sortie est négative par rapport à la référence de la source d'entrée.

Sa valeur moyenne peut être supérieure ou inférieure à celle de la tension d'entrée selon le rapport cyclique est supérieur ou inférieur à (0.5).

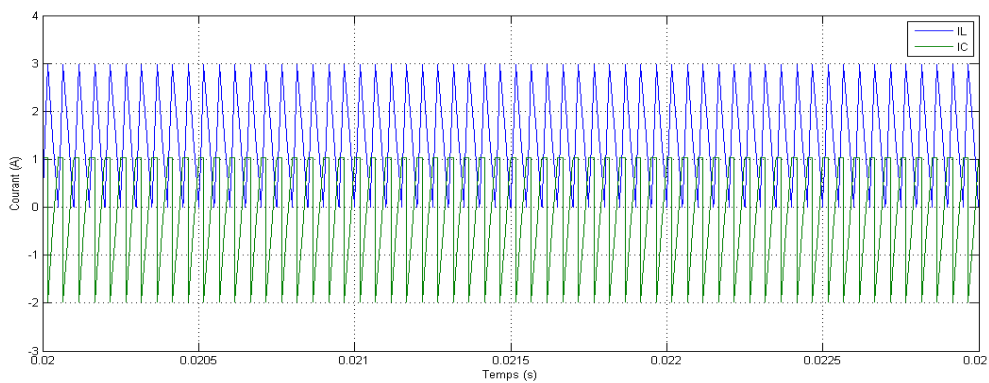
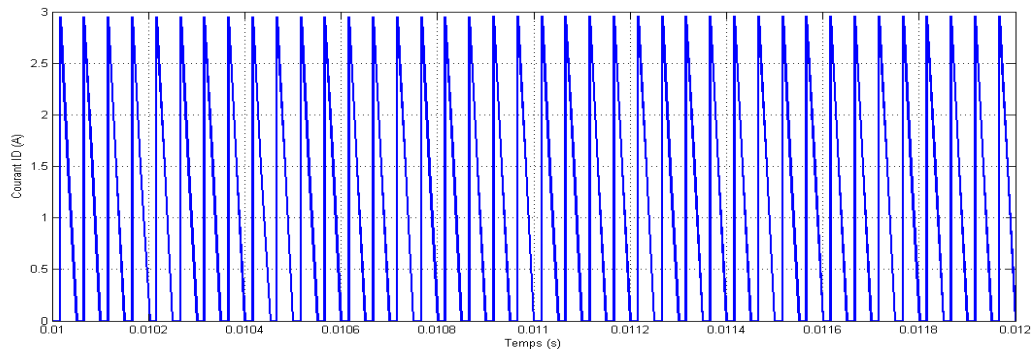
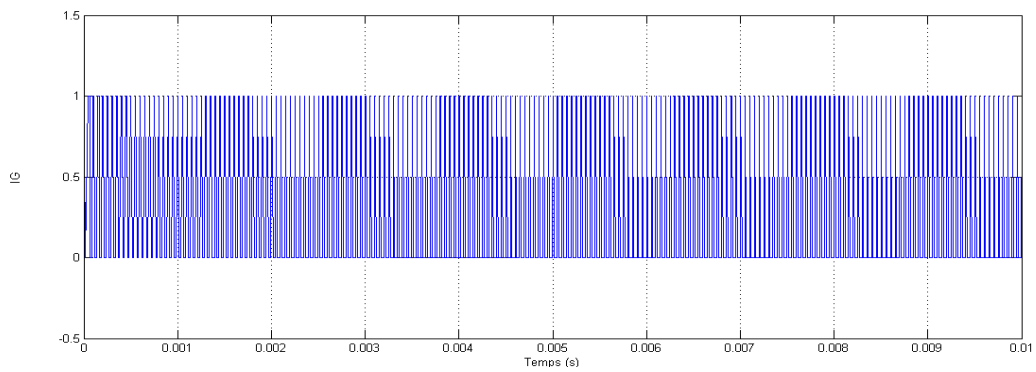
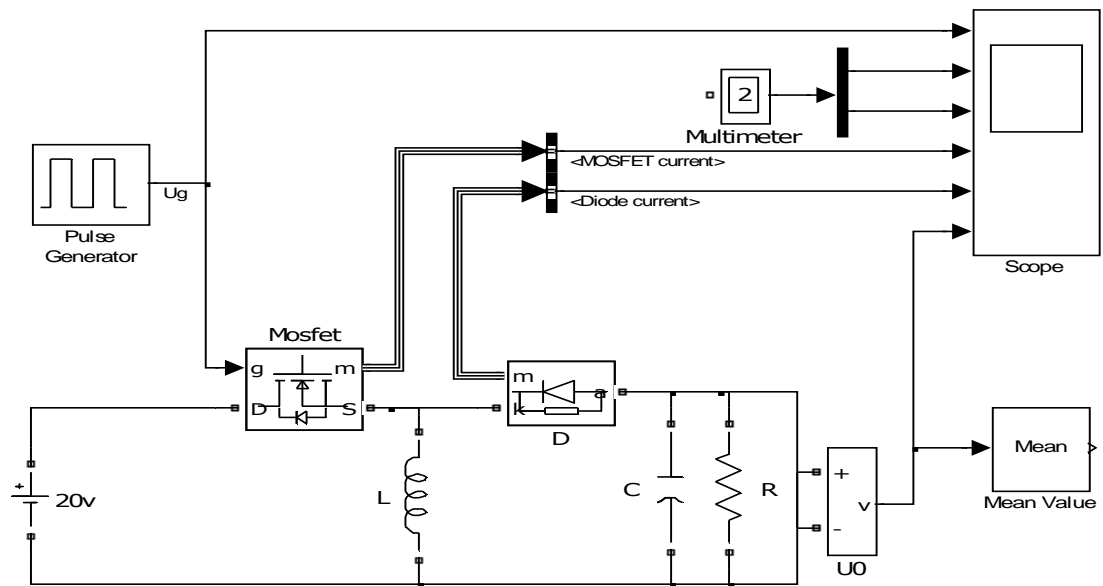


Figure II-9 : Schéma synoptique d'un hacheur dévolteur survolteur avec les courants  $I_G$ ,  $I_D$ ,  $I_C$ ,  $I_L$



#### II-4-2-4 Influence de la résistance de la bobine

Si on tient compte de la résistance  $R_B$  de la bobine, la tension moyenne aux bornes de cette dernière n'est plus nulle [17].

$$V_L = E \cdot \alpha + V_S(1 - \alpha) = R_B \times i \quad (II-6)$$

Avec  $i = \frac{V_S}{R(1 - \alpha)}$  on aura  $E \cdot \alpha + V_S(1 - \alpha) = R_B \frac{V_S}{R(1 - \alpha)}$

$$\text{On trouve } V_S = - \frac{E \alpha}{(1 - \alpha) \left[ 1 + \frac{R_B}{R(1 - \alpha)} \right]} \quad (II-7)$$

Si on comparant les deux équations de  $V_S$ , on constate que l'effet de la résistance de la bobine est de diminuer la valeur de la tension de sortie ; cette diminution devient importante lorsque le rapport cyclique se rapproche de 1.

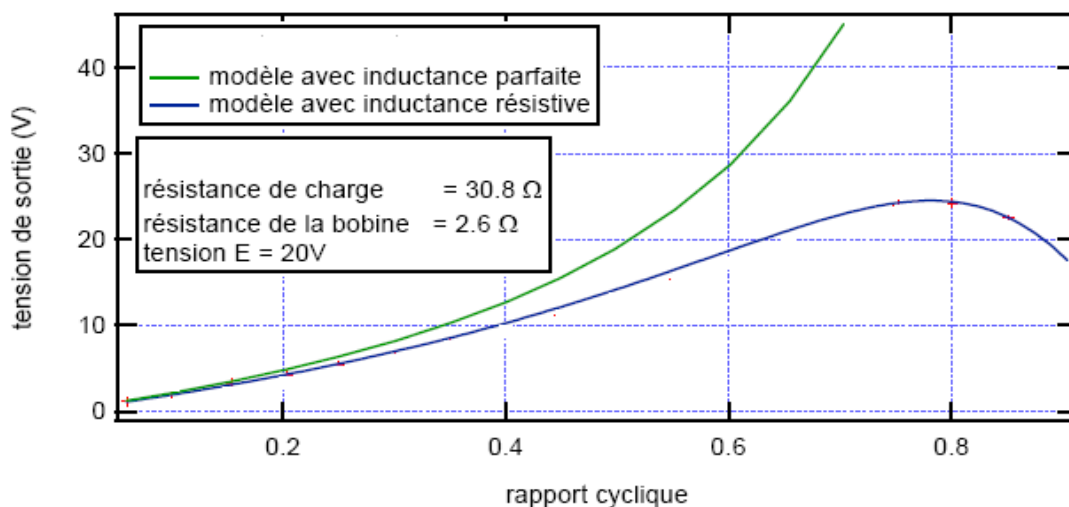


Figure II-10: Influence de la résistance de la bobine sur la tension de sortie du hacheur.

## II-5 ONDULEURS DE TENSION MULTINIVEAUX DE TYPE NPC

### II-5-1 INTRODUCTION

L'évolution rapide des techniques de fabrication des dispositifs à semi conducteurs et l'orientation des concepteurs vers la technologie des composants hybrides tels que l'IGBT ont permis de développer de nouvelles structures d'onduleurs d'une grande performance par

rapport aux structures classiques, en L'occurrence, les onduleurs multi niveaux. Ils sont mieux adaptés aux applications de grandes puissances parce qu'ils réduisent les contraintes dues aux phénomènes de commutation sollicitant les interrupteurs.

La première structure d'onduleurs multi niveaux à apparaître est le NPC (Neutral Point Clamped) à trois niveaux, proposés par Nabae. L'extension de cette topologie, aux niveaux supérieurs à trois, a permis l'apparition de la topologie d'onduleur multi niveaux à diode de bouclage (Diode Clamped Inverter).

De nombreuses publications concernent les applications multi-niveaux ont été sujets de recherche très tôt avec les différentes topologies NPC, multicellulaire, ou à convertisseurs imbriqués. Néanmoins la topologie dominante pour les applications, reste actuellement la structure NPC, vu la simplicité de la commande pour le cas des onduleurs trois niveaux. Au delà de trois niveaux, le contrôle de ces onduleurs reste très délicat . En élevant le nombre de niveaux de l'onduleur, les tensions de sortie ont plusieurs niveaux induisent une forme d'onde de plus en plus proche d'une sinusoïde.

Le travail présenté porte, sur l'étude de l'onduleur de tension à trois niveaux de type NPC: sa structure et son principe de fonctionnement.

Enfin, la commande de l'onduleur étudié est réalisée par la stratégie de modulation à MLI.

### **II-5-2 ONDULEUR À TROIS NIVEAUX DE TYPE NPC**

**P**our un onduleur à **m** niveaux, le nombre des éléments constituant sa topologie, notamment les sources secondaires de tension continue (**s**), les interrupteurs (**k**) et les diodes de bouclage (**D**) sont régis par les relations suivantes [22,26]

$$s=m-1$$

$$k =2(m-1)$$

$$D=2(m-2)$$

Dans cette étude on se limite à l'analyse de l'onduleur trois niveaux de type NPC

### II-5-2-1 STRUCTURE

L'idée de base de l'onduleur NPC est l'obtention d'une tension de sortie à trois niveaux par la superposition de deux interrupteurs élémentaires alimenté chacun par une source de tension continue distincte.

La structure de l'onduleur de tension en pont triphasé de type NPC à 3 Niveaux est représentée par la figure (II-11) [22,26]. Elle est composée de trois demi ponts monophasés. A partir de la source principale de tension continue  $E$ , et à l'aide d'un diviseur de tension capacitif formé par les condensateurs  $C1$  et  $C2$  de même capacité, on obtient deux sources secondaires de tension continue délivrant chacune un potentiel à demi tension  $E/2$ . Cette structure crée alors un point neutre  $O$  entre les condensateurs  $C1$  et  $C2$ .

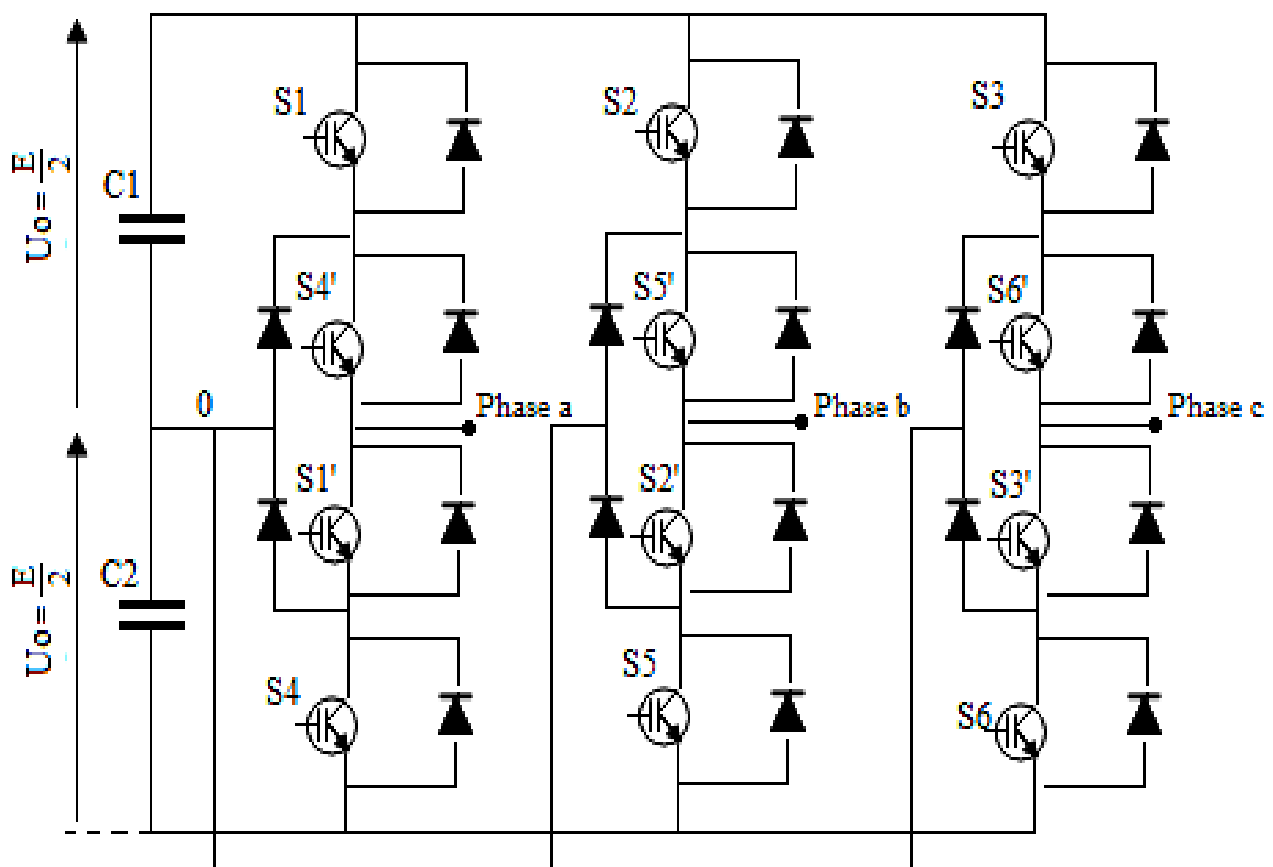


Figure II-11: Structure d'un onduleur trois niveaux

Chaque demi-pont est composé de deux étages d'interrupteurs. Chaque étage comporte deux transistors IGBT en série avec un point commun relié par une diode au point neutre O. Des diodes antiparallèles sur les transistors assurent la réversibilité des courants de la charge.

### II-5-2-2 Fonctionnement et Configuration d'un Bras d'Onduleur à Trois Niveaux

Pour décrire le fonctionnement de l'onduleur triphasé de type NPC, on considère un seul bras dont la structure est représentée par la figure (II-12), vu que l'onduleur triphasé à trois niveaux est symétrique, puis on déduit celui de l'onduleur complet.

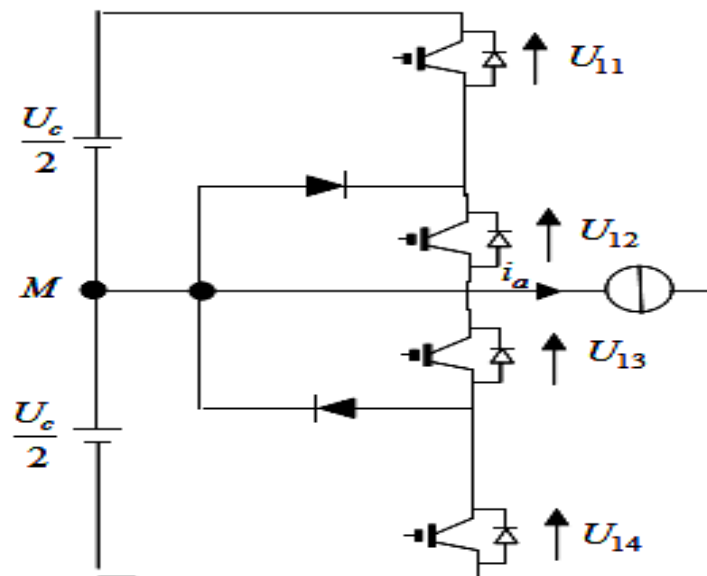
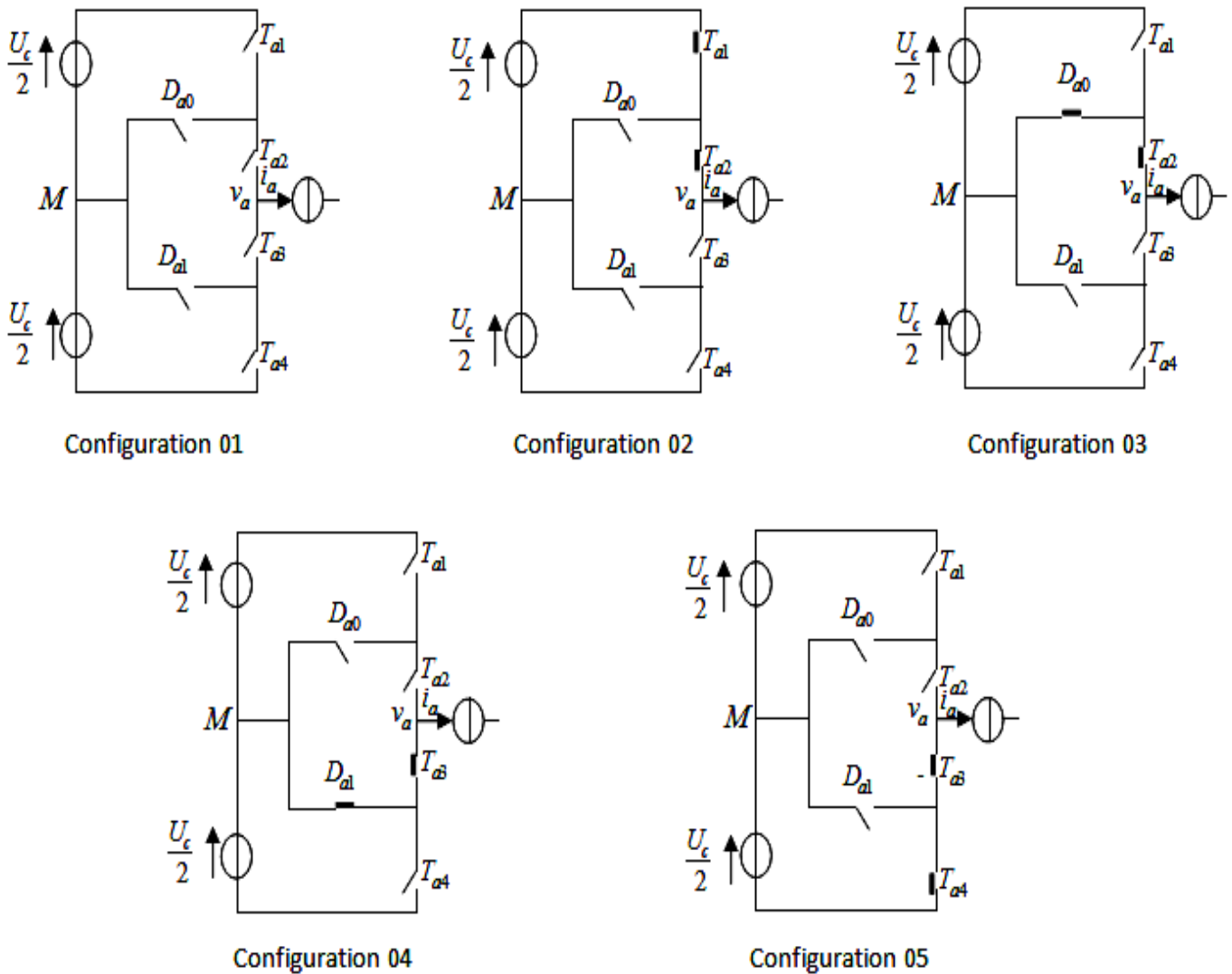


Figure II-12 : Structure d'un bras de l'onduleur à 3-niveaux de type NPC

Lorsque la source de tension et génératrice et la source de courant est réceptrice, la liaison des deux sources s'effectue à travers les transistors ; lorsque le transfert d'énergie s'opère de la sortie vers la source d'entrée, ce sont les diodes qui assurent le passage du courant.

Pour la configuration de l'onduleur trois niveaux, on a cinq configurations pour chaque bras comme il est présenté dans les figures ci-dessous :



**Figure II-13 : Les différents configurations d'un bras d'onduleur trois niveaux**

Chaque configuration est caractérisée par une grandeur électrique comme suite :

- ❖ Configuration 01:  $V_a = 0$ .
- ❖ Configuration 02 :  $V_a = U_c/2$ .
- ❖ Configuration 03 & 04 :  $V_a = 0$ .
- ❖ Configuration 05 :  $V_a = -U_c/2$ .

La combinaison des 4 interrupteurs d'un même bras ( $S_i, S_j', S_i', S_j$ ), peut imposer à la phase 3-niveaux de tension différentes:  $(0,0,1,1) \rightarrow -E/2, (0,1,1,0) \rightarrow 0, (1,1,0,0) \rightarrow E/2$  les combinaisons  $(1,1,1,0)$  et  $(0,1,1,1)$  réalisent un court-circuit de l'une des deux demies sources de tension continue pour cela elles sont interdites. L'ensemble des vecteurs tensions délivrées par un onduleur à trois niveaux ainsi que les séquences de niveaux de phase correspondantes sont représentés dans la figure. (II-14).

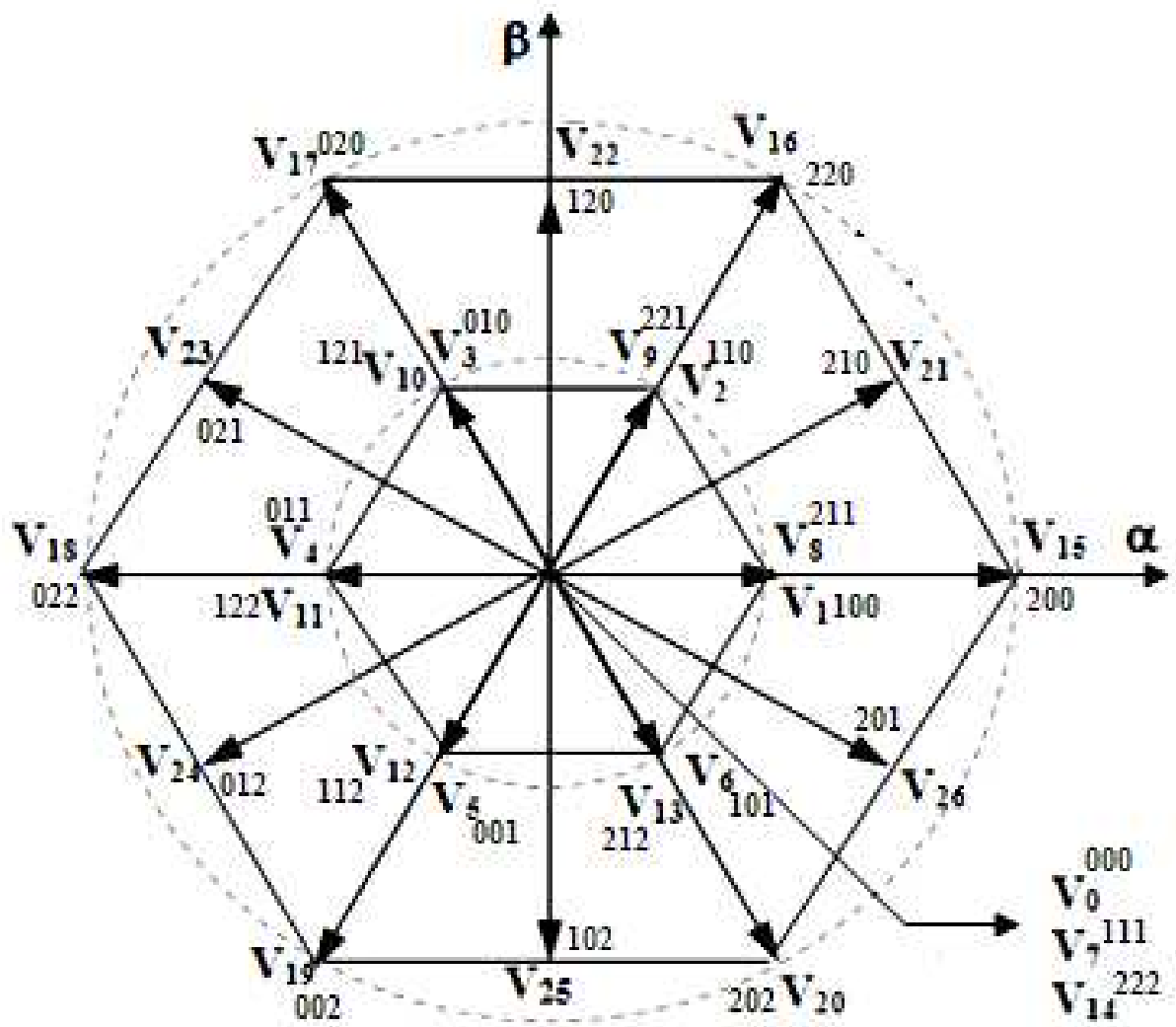


Figure II-14 : Vecteurs tension que peut fournir l'onduleur à 3-niveaux de tension.

**Le groupe des vecteurs "tension nulle" :**

Ils sont obtenus par trois combinaisons différentes des états des 3 bras: (1, 1,1), (-1,-1,-1) et (0, 0,0), et qu'on a nommé respectivement V7, V14 et V0. Ils n'ont pas d'influence sur la tension du point milieu de l'onduleur.

**Le groupe des vecteurs "demie tension" :**

On peut décomposer ce groupe en 2 autres sous-groupes:

Le premier est constitué des vecteurs nommés V1, V2, V3, V4, V5 et V6.

L'autre est constitué des vecteurs V8, V9, V10, V11, V12 et V13.

Ces vecteurs constituent l'hexagone interne "demie tension". L'application d'un vecteur de l'un ou l'autre sous-groupe a un effet contraire sur l'évolution de la tension du point milieu E, En effet, l'application d'un vecteur du premier sous-groupe (respectivement du deuxième) va entraîner une décharge du condensateur d'entrée C1 (respectivement du condensateur C2) [27]

**Le groupe des vecteurs "pleine tension" :**

Ce groupe contient les vecteurs tensions nommés V15, V16, V17, V18, V19 et V20. Ces vecteurs constituent l'hexagone extérieur "pleine tension" [86,98]. La tension du point milieu E, n'est pas affectée par l'application de ces vecteurs, car le courant qui circule dans C1 et dans C2 est le même.

**Le groupe des vecteurs "tension intermédiaire" :**

Les vecteurs tensions de ce groupe se nomment V21, V22, V23, V24, V25 et V26. Pendant l'application de ces vecteurs, on ne peut pas savoir s'il va augmenter ou diminuer la tension du point milieu E, où l'on va solliciter les deux condensateurs, mais les courants qui les traverseront ne seront pas égaux. Il y aura un déséquilibre de E qui dépend des courants circulant dans les phases pendant ce fonctionnement.

### II-5-2-3 MODULATION SINUSOIDALE CLASSIQUE

Les signaux de commande des interrupteurs de l'onduleur NPC sont obtenus à partir des intersections des trois signaux de référence sinusoïdaux déphasés entre eux de  $120^\circ$ , de fréquence  $f_m$  et d'amplitude  $A_m$ , avec un signal triangulaire d'amplitude  $A_p$  et de fréquence,  $f_p$  appelée 'porteuse' très supérieure à  $f_m$ .

La figure (II.15) montre le principe de la technique MLI sinusoidale classique utilisée pour un onduleur triphasé à trois niveaux de type NPC.

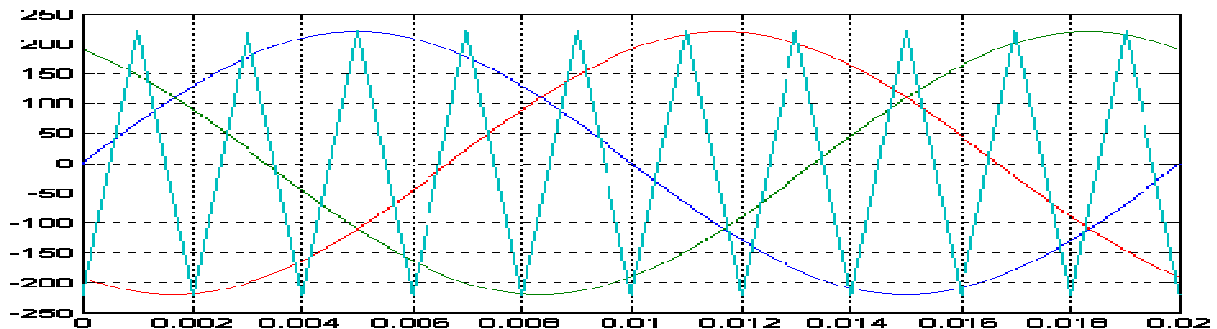


Figure II-15: Principe de la modulation sinusoidale classique.

Le schéma synoptique sur matlab sumilink qui génère les signaux de commande des interrupteurs de l'onduleur est illustré sur la figure (II.16).

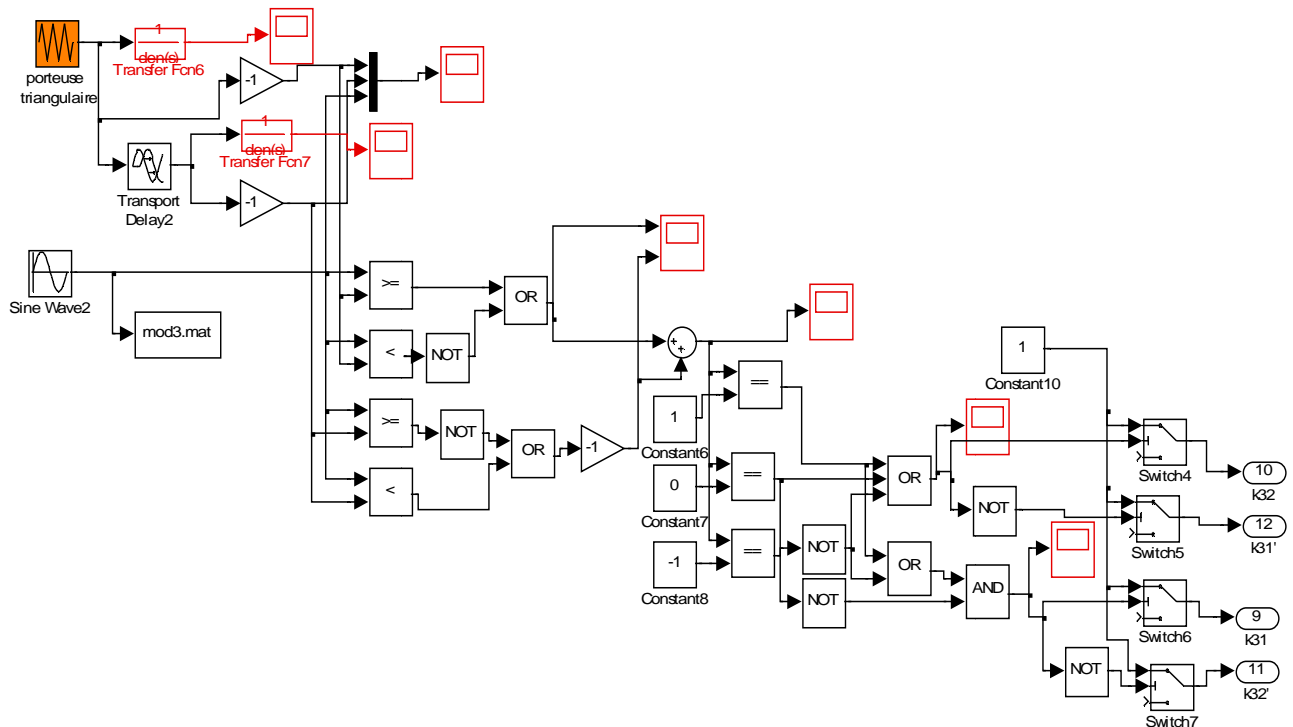


Figure II-16: Schéma synoptique des signaux de commande des interrupteurs pour un bras d'onduleur.



## II-6 ARCHETECTURES DE CONNEXION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AU RESEAU

### II-6-1 Structure à convertisseur unique

Le dispositif présenté par la Figure (II-17) est le plus simple, car il comporte le moins de composants possibles. On associe plusieurs modules photovoltaïques en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. La tension continue obtenue alimente directement un onduleur central, qui fournit la tension sinusoïdale désirée (230 V). Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système photovoltaïque du réseau. L'inconvénient majeur de ce dispositif est l'arrêt total et immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur. De plus, le contrôle du point de puissance maximum de la puissance est voisin, car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement [27].

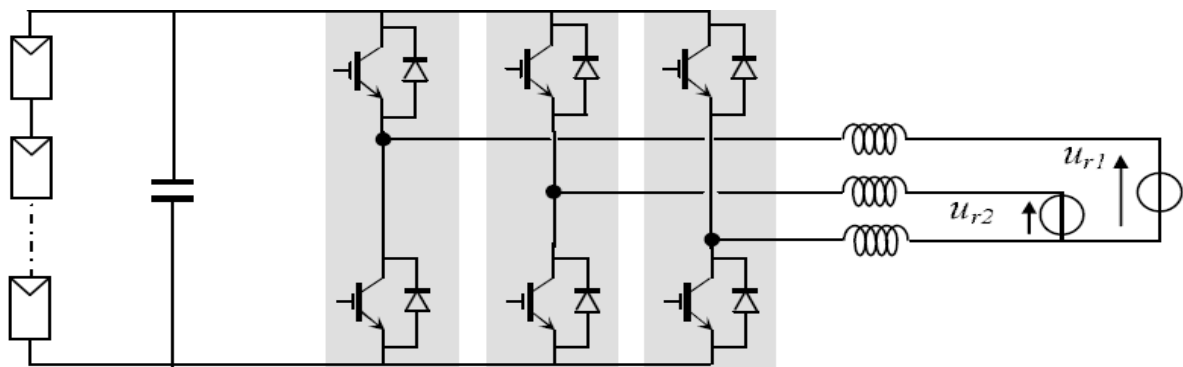


Figure II-17: Structure à convertisseur unique .

### II-6-2 Structure avec bus à basse tension alternative

La figure (II-18) montre un onduleur associé à un circuit de commande qui est directement connecté au module photovoltaïque. La tension en sortie de ce dernier est transformée en une tension alternative de fréquence 50 Hz. Cette tension est transportée grâce à un bus alternatif (220 V – 50 Hz), vers un transformateur central qui l'élève au niveau désiré. Le faible niveau de tension dans le bus est l'avantage majeur de ce type de montage, puisqu'il assure la

sécurité des personnels. Cependant, la distance entre le transformateur et le module doit être faible à cause du courant important qui traverse les câbles et qui génère des pertes joules. Il y a un compromis à faire au niveau de la tension du bus alternatif. D'une part, il faut que sa valeur crête soit inférieure à celle délivrée par les modules (même avec un faible ensoleillement). D'autre part, une tension faible dans ce bus diminue le rendement [27].

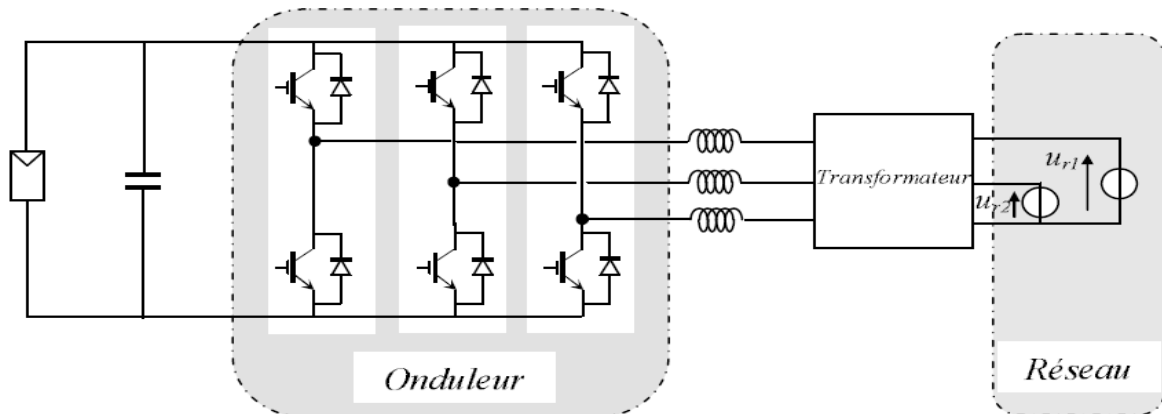


Figure II-18: Structure avec bus à basse tension alternative .

### II-6-3 Structure avec convertisseur forward

La figure (II-19) présente un convertisseur forward qui est capable d'augmenter la tension en série du module photovoltaïque jusqu'à 350 V (tension désirée). L'utilisation d'un transformateur pour la connexion au réseau n'est donc pas nécessaire, la conversion continu-alternative se fait de façon relativement simple, grâce à un onduleur centralisé. Les inconvénients majeurs de ce montage sont :

- la capacité doit être relativement importante, à cause des ondulations du courant en sortie du module.
- Le bus continu supportera un signal en créneau qui induira une grande émission d'ondes électromagnétiques et éventuellement des pertes de fuite ; l'induction du transformateur compris dans le convertisseur génèrera des pertes de fuite.

La tension élevée qui traverse le bus continu réduit la sécurité du personnel d'entretien.

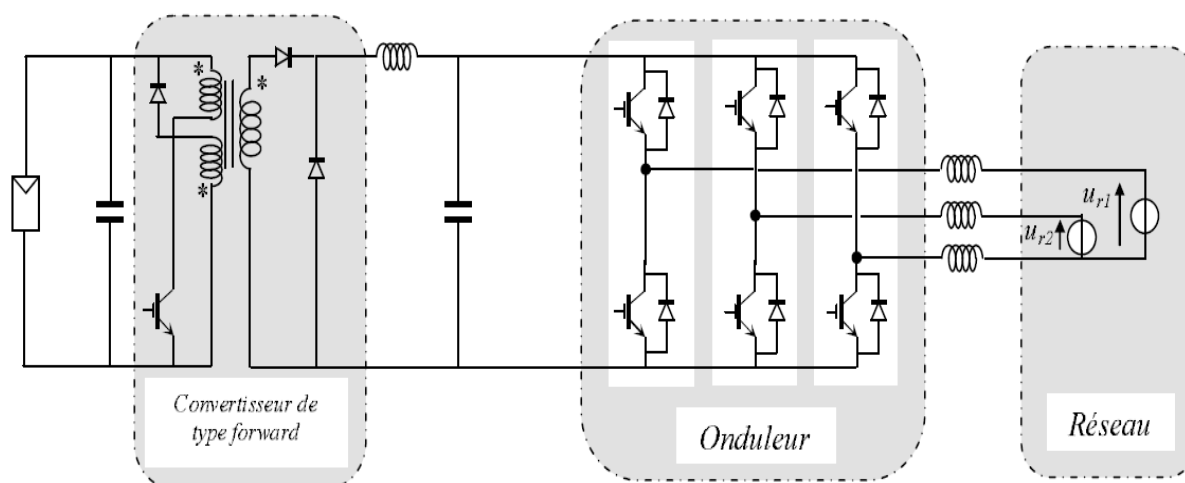


Figure II-19 : Structure de type forward alimentant le bus continu .

#### II-6-4 Structure avec convertisseur de type fly-back

La figure (II-20) montre une structure à base d'un convertisseur de type fly-back qui élève la tension sortie du module photovoltaïque au niveau de tension désirée. La caractéristique principale du fly-back se situe au niveau du transformateur qui agit comme l'inducteur principal et qui assure l'isolation galvanique. Le hacheur est contrôlé pour obtenir un maximum d'énergie du module photovoltaïque et l'onduleur assure une tension constante et le transfert de puissance vers le réseau. L'inconvénient du transformateur est qu'il génère des pertes et qui augmente le coût de l'installation [27].

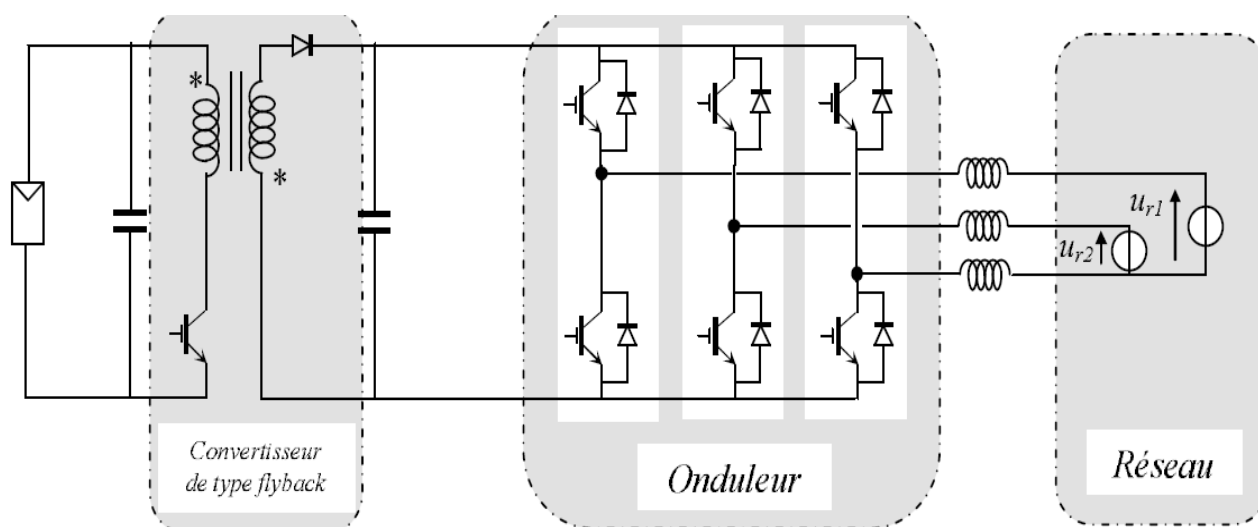


Figure II-20 : Structure avec un convertisseur de type flyback .

### II-6-5 Caractéristiques des onduleurs pour application photovoltaïque

Les onduleurs pour applications photovoltaïques remplissent souvent le cahier des charges suivant :

- ✚ Une bonne synchronisation avec le réseau, ce qui inclue de délivrer un signal proche de la sinusoïde, un déphasage faible et peu d'harmoniques par rapport à la phase du réseau, de faibles perturbations électromagnétiques, si les onduleurs ne sont pas synchronisés et injectent de façon aléatoire, leurs signaux peuvent se superposer ou au contraire s'opposer et être à l'origine de découplages intempestifs.
- ✚ Unique déclenchement automatique en cas de coupure du réseau et une qualité de courant qui correspond aux valeurs maximales admissibles pour le réseau.
- ✚ Une isolation galvanique entre le champ et le réseau.
- ✚ Un rendement de conversion du courant photovoltaïque le plus élevé possible sur la plage de tension la plus large possible :
- ✚ Une plage d'entrée en tension importante car elle conditionne le nombre de panneaux à connecter en série dans le champ.
- ✚ Un bon comportement à puissance maximale car certains appareils se déconnectent alors que d'autres continuent de fonctionner en limitant la puissance.

## II-7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés en premier lieu, la gestion de l'énergie dans un système photovoltaïque par les algorithmes de poursuite du point de puissance (PPM) les plus utilisés, ainsi nous avons rappelés les différents architectures des interfaces utilisés pour la connexion au champ photovoltaïque, et les notions élémentaires relatives à chaque type de hacheur, plusieurs structures peuvent être envisagées selon le sens souhaité de transfert de l'énergie.

La production de la puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température, pour assurer le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à son point de puissance maximale, plusieurs méthodes sont souvent adoptées, c'est la raison pour la quelle une attention particulière à été donné aux hacheurs (dévolteur -survolteur) comme étage d'adaptation entre la source est la charge, dans le but de permettre au générateur photovoltaïque à délivré sa puissance maximale.

La charge étant alimenté en courant alternatif, les caractéristiques des grandeurs électriques d'entrée ou de sortie étant imposées par un cahier des charges défini par l'utilisateur, c'est pourquoi les onduleurs jouent un rôle clé est très important au regard de l'efficacité énergétique, de ce fait, une étude a été faite sur l'onduleur à trois niveaux de type NPC avec commande MLI.

Les onduleurs multi-niveaux permettent d'augmenter la tension de sortie des convertisseurs statiques et peuvent être considéré comme source de tension contrôlable, capable de prendre un nombre limité de valeurs de tension de sortie. Aussi plusieurs structures de connexion d'un système de production d'énergie photovoltaïque assurant le transfert de puissance vers le réseau électrique ont été décrites avec leurs avantages et inconvénients.



## CHAPITRE III

# Etude et Analyse Du Système De Conversion Photovoltaïque

### ***III-1 Introduction***

Dans le cas d'une installation autonome, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation, etc.) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en alternatif.

Les systèmes de production d'électricité décentralisés sont, en général, couplés au réseau sans système de stockage ou bien isolés du réseau et donc associés à un dispositif de stockage de l'énergie.

Le principal avantage des systèmes couplés au réseau est qu'ils permettent de revendre l'énergie produite et non consommée sur place au fournisseur du réseau. Par contre, ces systèmes ne peuvent fonctionner qu'en présence du réseau. Dans le cas d'une coupure de ce dernier, bien qu'ayant son propre système de production d'électricité, le producteur indépendant se trouve privé d'électricité.

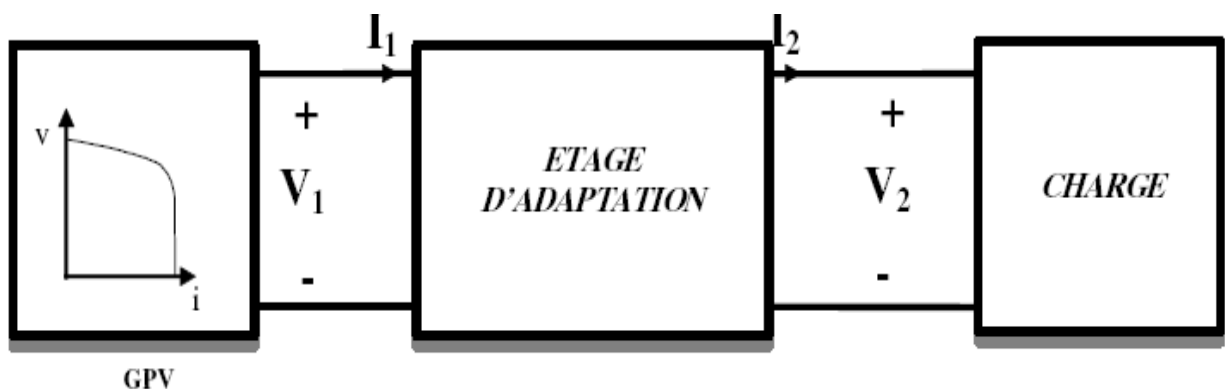
Le producteur consommateur isolé du réseau est tributaire des conditions météorologiques. Ainsi, si l'on a plusieurs jours successifs défavorables à la production d'électricité, le producteur consommateur risque également d'être privé d'électricité lorsque son dispositif de stockage sera complètement déchargé.

Dans ce chapitre, nous développons l'étude du système complet avec toutes les entités de conversion face aux variations climatiques et de charge ;il s'agit d'un système de production d'électricité sans système de stockage ,peut être raccordé au réseau de distribution basse tension (BT).Ces performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement ,température ambiante ,obstacles géographiques ,empoussièrement...etc.) ;du rendement des modules mais aussi des caractéristiques des autres équipements utilisés (régulateur, onduleur...etc.) qui constituent la chaîne de conversion électrique, qui présente beaucoup de pertes lors d'une utilisation mal adaptées .

### III-2 Étage d'Adaptation entre un Générateur PV et une Charge

Un GPV présente des caractéristiques  $I(V)$  non linéaires avec des PPM. Ces caractéristiques dépendent entre autre du niveau d'éclairement et de la température de la cellule. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe.

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure (III-1). Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de  $P_{MAX}$  disponible.



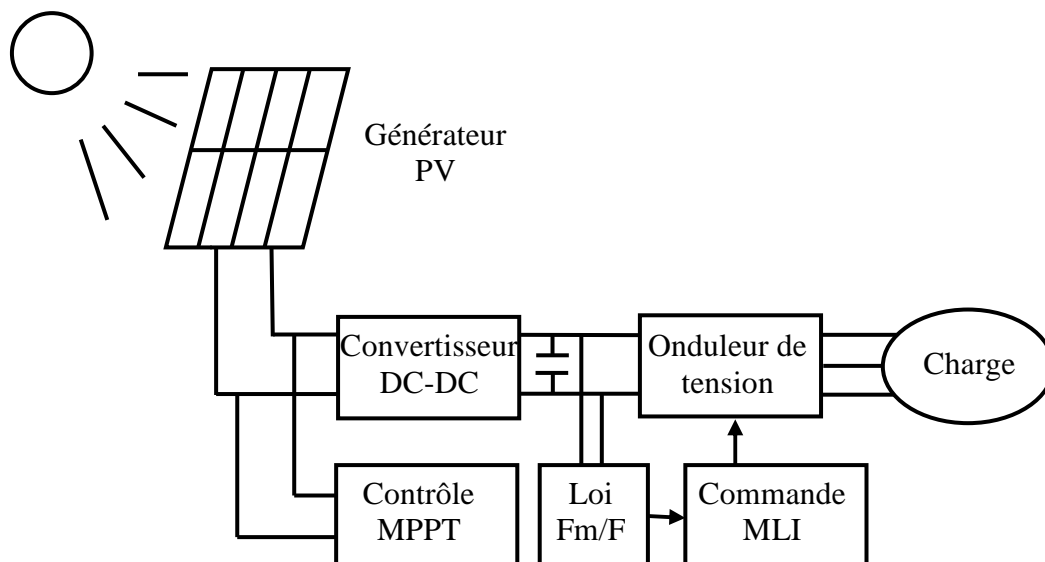
**Figure III-1: Etage d'adaptation entre le GPV et la charge.**

Ce dernier par le biais d'une commande spécifique est alors susceptible de permettre au générateur de délivrer sa puissance maximale notée  $P_{max}$ .

$P_{max} = V_{opt} \times I_{opt}$  , ou  $V_{opt}$  et  $I_{opt}$  représentent respectivement les tensions et courants optimaux du générateur PV pour une courbe  $I(V)$  donnée.



Pour que le générateur PV fonctionne le plus souvent possible dans son régime Optimal, la solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui joue le rôle d'adaptateur source charge figure (III-2).

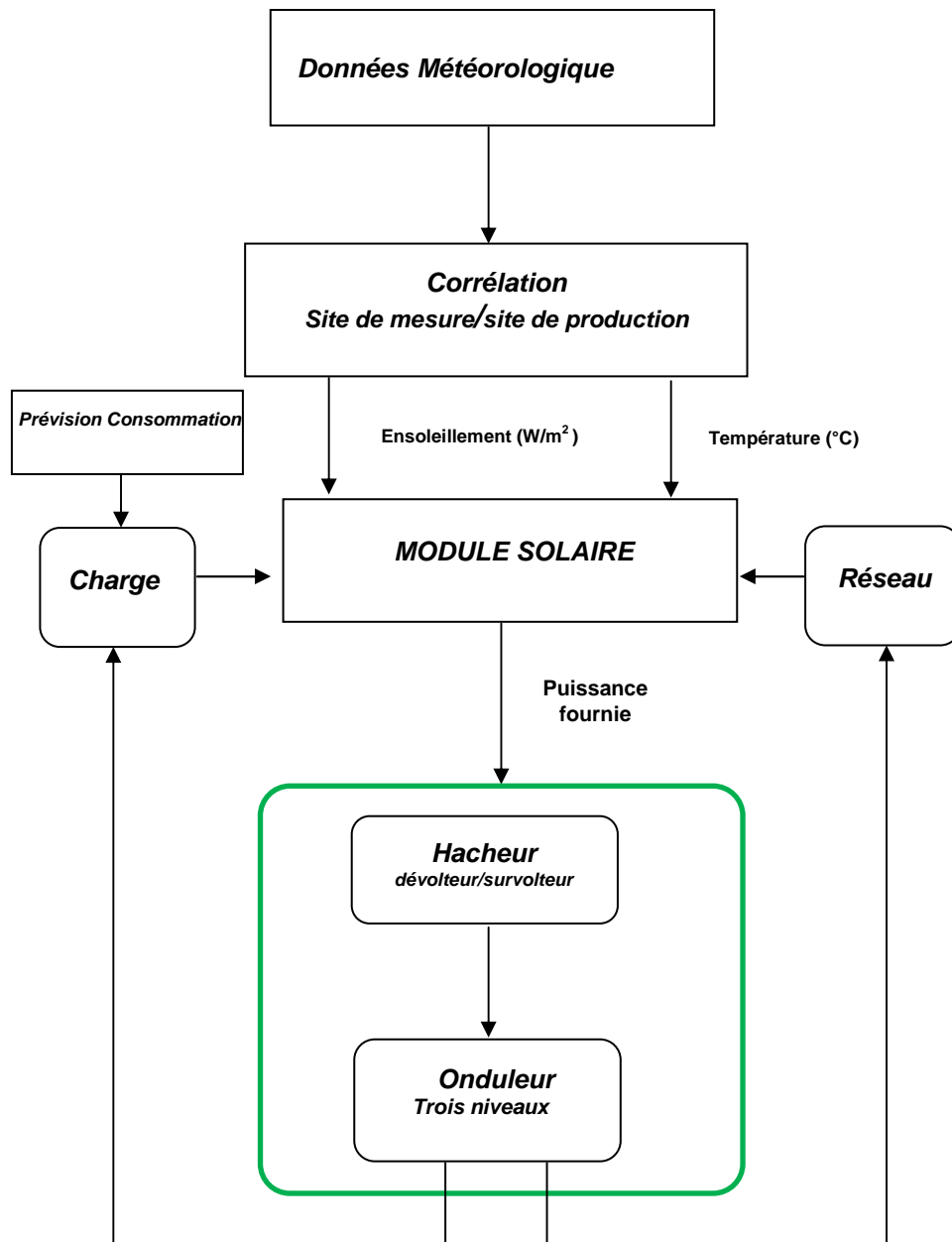


*Figure III-2: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.*

La figure (III-2) montre le schéma de principe décrivant les fonctions présentes dans un étage d'adaptation pour un GPV réel conçu. Le principe de la commande MPPT délivre l'action de contrôle appropriée afin de suivre le point de puissance maximale en chaque instant.

Le choix de la structure de conversion est effectué en fonction de la charge à alimenter. Nous avons besoin de structures de conversion survoltrice ou dévoltrice en fonction de la caractéristique de cette charge.

La démarche générale pour le dimensionnement et la gestion de transfert d'énergie sur la base des prévisions réel de consommation et les données météorologique du site de mesure est illustrée sur la figure (III-3).



*Figure III-3: Schéma d'optimisation de transfert d'énergie.*

### III-3 Données météorologiques sur l'ensoleillement en Algérie

De part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire exceptionnellement élevé. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint même les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara. [31]

Le potentiel techniquement exploitable en énergie solaire en Algérie est considérable et telle que des investissements rentables peuvent être envisagés.

En effet l'énergie solaire constitue une solution économiquement rentable pour fournir des services énergétiques aux populations isolées, principalement dans les régions du grand sud, La valorisation de l'énergie solaire ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.

Selon une étude prospective effectuée par l'agence spatiale allemande (DLR), l'Algérie dispose d'une énergie thermo solaire de plus de 169.44Twh/an et plus de 13.90Twh/an d'énergie photovoltaïque. Au moment ou la consommation actuelle de l'Algérie en énergie obtenue essentiellement du gaz et du pétrole est de 25à30Twh/an .Si l'on partage l'avis de nombreux experts, qui estiment que l'électricité solaire pourrait devenir l'option énergétique la plus abordable en 2020, l'Algérie possède les conditions requises pour développer cette filière.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

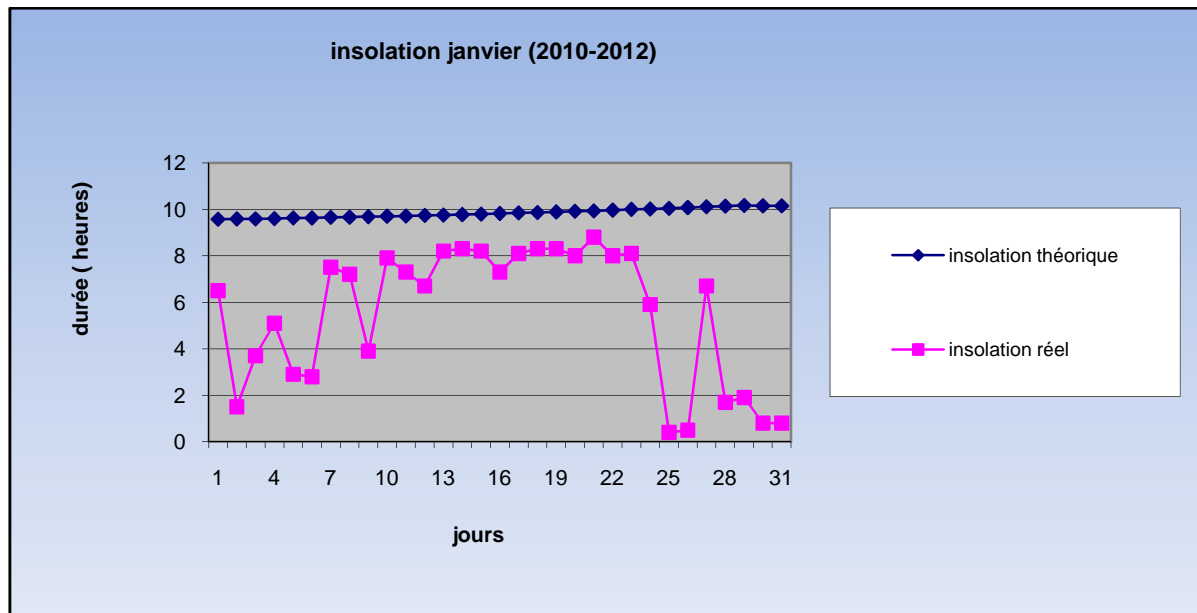
**Tableau III-1: Potentiel solaire en Algérie.**

### III-3-1 Données Météorologiques (Corrélation Site De Mesure /Site De Production)

Les données solaires nécessaires pour l'établissement d'un choix du système sont l'ensoleillement dans le plan des panneaux et la température de jonction des cellules. Pour l'ensoleillement, nous nous sommes procuré, auprès de météo souk ahras, les données météorologiques des dernières années (2010-2012).c'est un historique moyen d'ensoleillement. Nous avons considérés les mêmes conditions atmosphériques entre le site de mesure et le site de production.

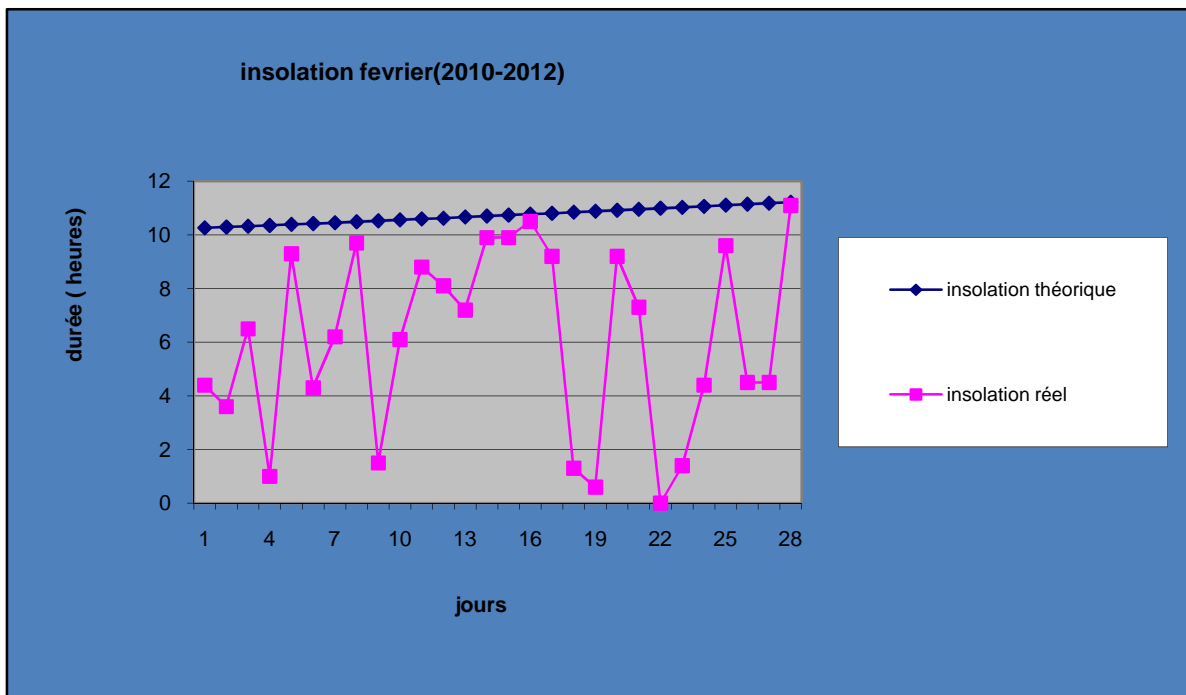
**Tableau III-2 : Relevé de l'insolation réel mois janvier (2010-2012)**

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	9,58	6,5	16	9,83	7,3
2	9,59	1,5	17	9,85	8,1
3	9,6	3,7	18	9,87	8,3
4	9,61	5,1	19	9,89	8,3
5	9,63	2,9	20	9,92	8
6	9,64	2,8	21	9,94	8,8
7	9,66	7,5	22	9,97	8
8	9,67	7,2	23	10	8,1
9	9,69	3,9	24	10,02	5,9
10	9,71	7,9	25	10,05	0,4
11	9,72	7,3	26	10,08	0,5
12	9,74	6,7	27	10,11	6,7
13	9,76	8,2	28	10,14	1,7
14	9,78	8,3	29	10,17	1,9
15	9,8	8,2	30	10,15	0,8
			31	10,15	0,8

**Figure III-4 : Insolation réel mois janvier (2010-2012)**

**Tableau III-3 : Relevé de l'insolation réel mois février (2010-2012)**

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	10,26	4,4	16	10,77	10,5
2	10,29	3,6	17	10,8	9,2
3	10,32	6,5	18	10,84	1,3
4	10,35	1	19	10,88	0,6
5	10,39	9,3	20	10,91	9,2
6	10,42	4,3	21	10,95	7,3
7	10,45	6,2	22	10,99	0
8	10,49	9,7	23	11,02	1,4
9	10,52	1,5	24	11,06	4,4
10	10,56	6,1	25	11,1	9,6
11	10,59	8,8	26	11,14	4,5
12	10,62	8,1	27	11,17	4,5
13	10,66	7,2	28	11,21	11,1
14	10,7	9,9			
15	10,73	9,9			



**Figure III-5: Insolation réel mois février (2010-2012)**

Tableau III-4 : Relevé de l'insolation réel mois mars (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	11,25	10,9	16	11,83	3,6
2	11,29	10,8	17	11,86	1,6
3	11,33	10,9	18	11,9	9,7
4	11,36	10,9	19	11,94	10,8
5	11,4	10,7	20	11,98	4,4
6	11,44	10	21	12,02	9,6
7	11,48	6,5	22	12,06	1,3
8	11,52	0	23	12,1	0,2
9	11,56	0	24	12,13	8,3
10	11,59	5,6	25	12,17	10,2
11	11,63	0	26	12,21	8,7
12	11,67	0,1	27	12,25	5,8
13	11,71	2,2	28	12,29	4
14	11,75	8	29	12,33	6,8
15	11,79	9,5	30	12,36	5,6
			31	12,4	11,4

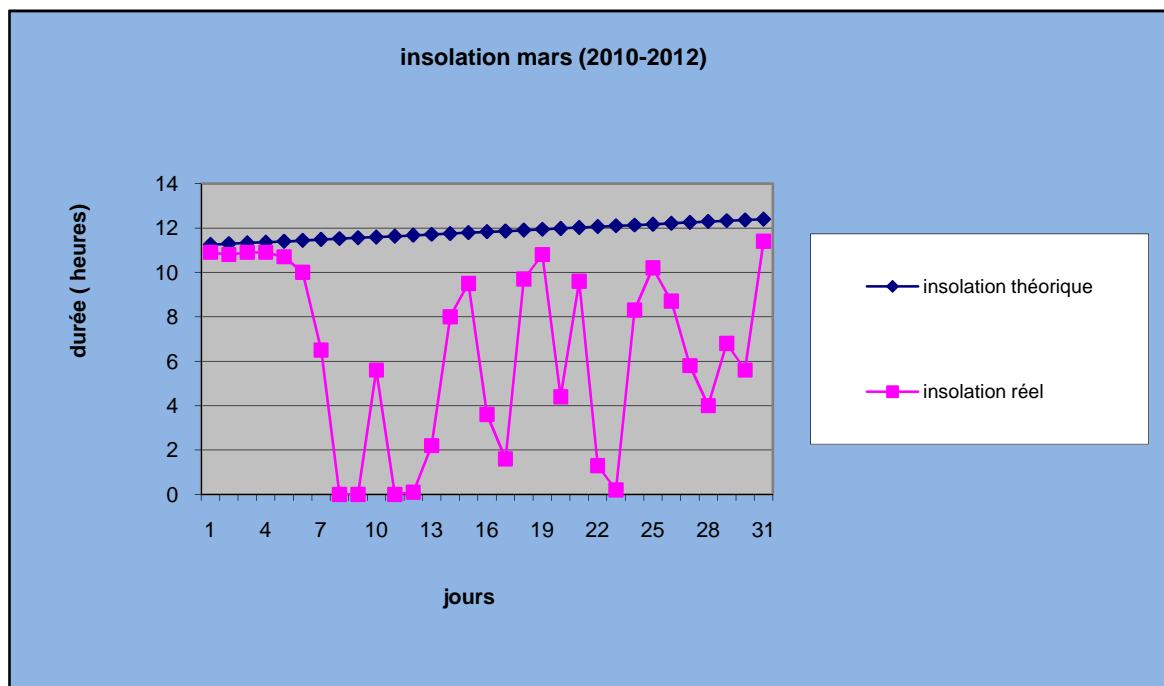


Figure III-6: Insolation réel mois mars (2010-2012)

Tableau III-5: Relevé de l'insolation réel mois avril (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	12,44	11	16	13	3,7
2	12,48	4,4	17	13,03	5,8
3	12,52	3,6	18	13,07	7,2
4	12,55	4,8	19	13,11	1,6
5	12,59	2	20	13,14	0
6	12,63	8	21	13,18	11,8
7	12,67	10,4	22	13,21	10,7
8	12,7	8,4	23	13,25	9,1
9	12,74	11	24	13,28	0
10	12,78	4	25	13,32	6
11	12,82	9,7	26	13,35	0,6
12	12,85	1,5	27	13,38	5,8
13	12,89	9,2	28	13,42	5,7
14	12,93	6,3	29	13,45	1,9
15	12,96	6,4	30	13,48	11,8

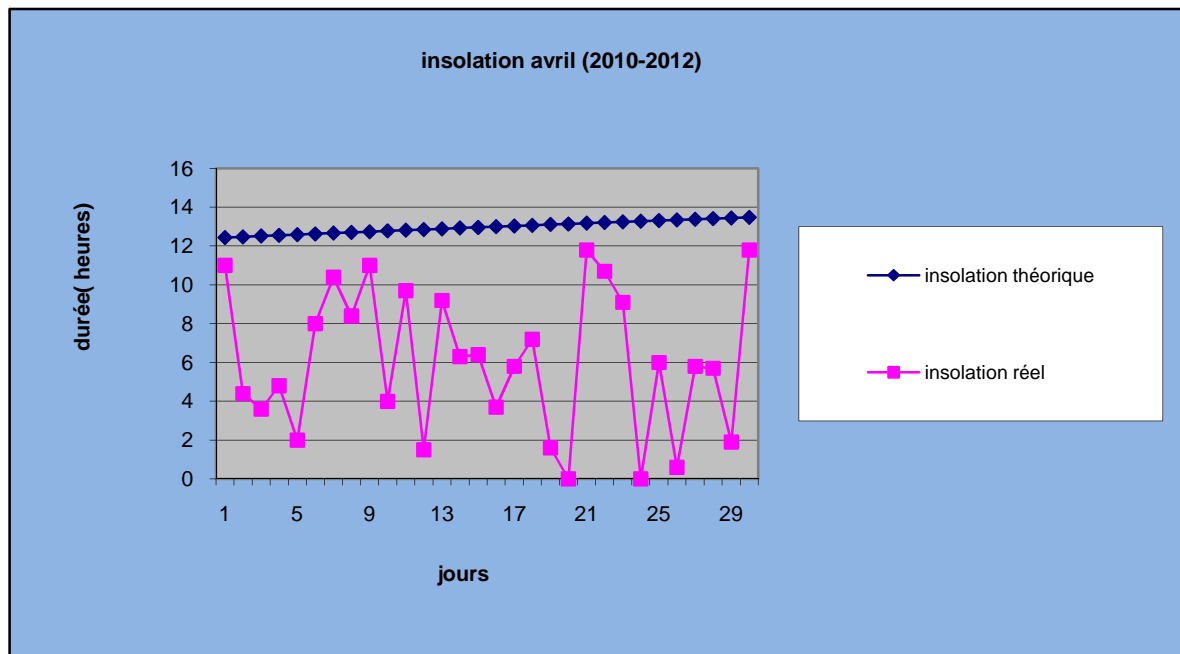


Figure III-7: Insolation réel mois avril (2010-2012)

Tableau III-6 : Relevé de l'insolation réel mois mai (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	13,52	9,1	16	13,96	3,6
2	13,55	1,1	17	13,98	8,3
3	13,58	7,1	18	14,01	7
4	13,61	5,7	19	14,04	11,8
5	13,64	6,2	20	14,06	12,8
6	13,67	8,6	21	14,08	5,2
7	13,7	3,8	22	14,11	10,3
8	13,73	3,1	23	14,13	7,8
9	13,76	13	24	14,15	11,1
10	13,79	13	25	14,17	11,3
11	13,82	13	26	14,19	12,2
12	13,85	13	27	14,21	9
13	13,88	13	28	14,23	7,1
14	13,91	12,5	29	14,25	11,3
15	13,93	8,1	30	14,27	13,3
			31	14,29	13,1

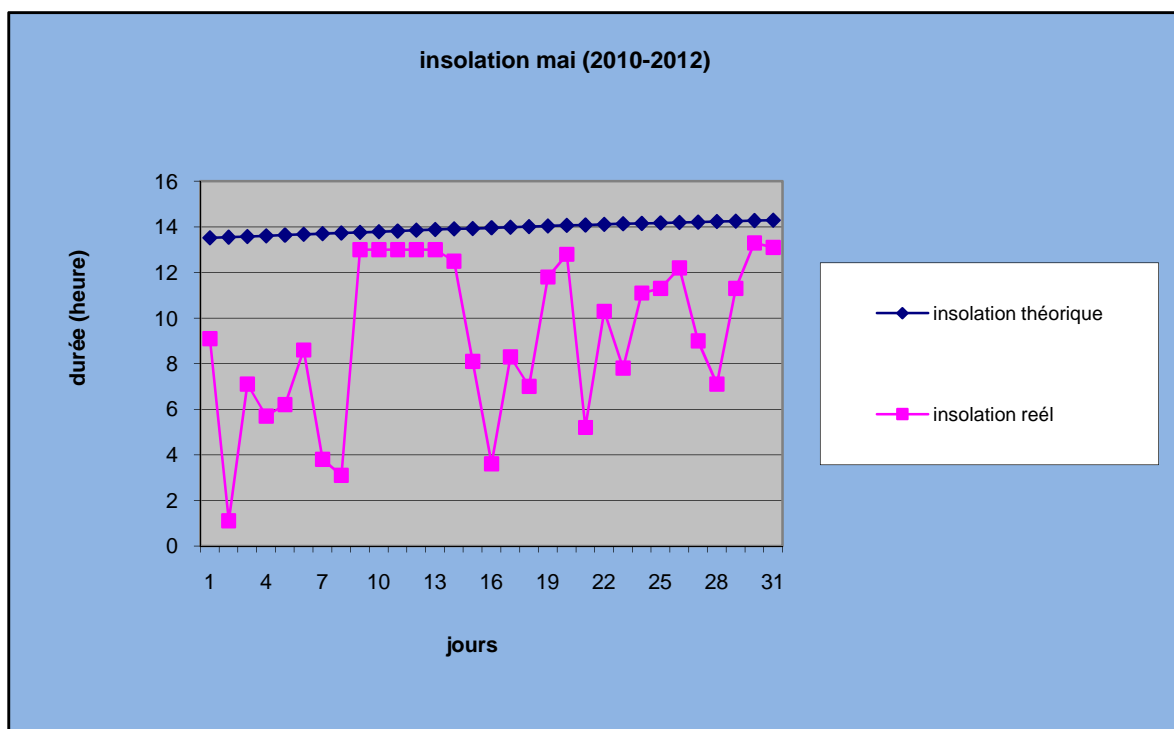


Figure III-8: Insolation réel mois mai (2010-2012)



Tableau III-7 : Relevé de l'insolation réel mois juin (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	14,3	9,5	16	14,46	13,2
2	14,32	0,2	17	14,46	13,3
3	14,33	0,5	18	14,47	13,1
4	14,35	1,1	19	14,47	11,9
5	14,36	12,8	20	14,47	12,8
6	14,37	1	21	14,47	12
7	14,39	10,9	22	14,47	9,7
8	14,4	13	23	14,47	10,4
9	14,41	13,4	24	14,47	12
10	14,42	10,8	25	14,47	10,9
11	14,43	12,5	26	14,46	12,7
12	14,44	10,8	27	14,45	10,3
13	14,44	10,3	28	14,45	12,7
14	14,45	12,3	29	14,44	7,8
15	14,45	11,3	30	14,45	11,9

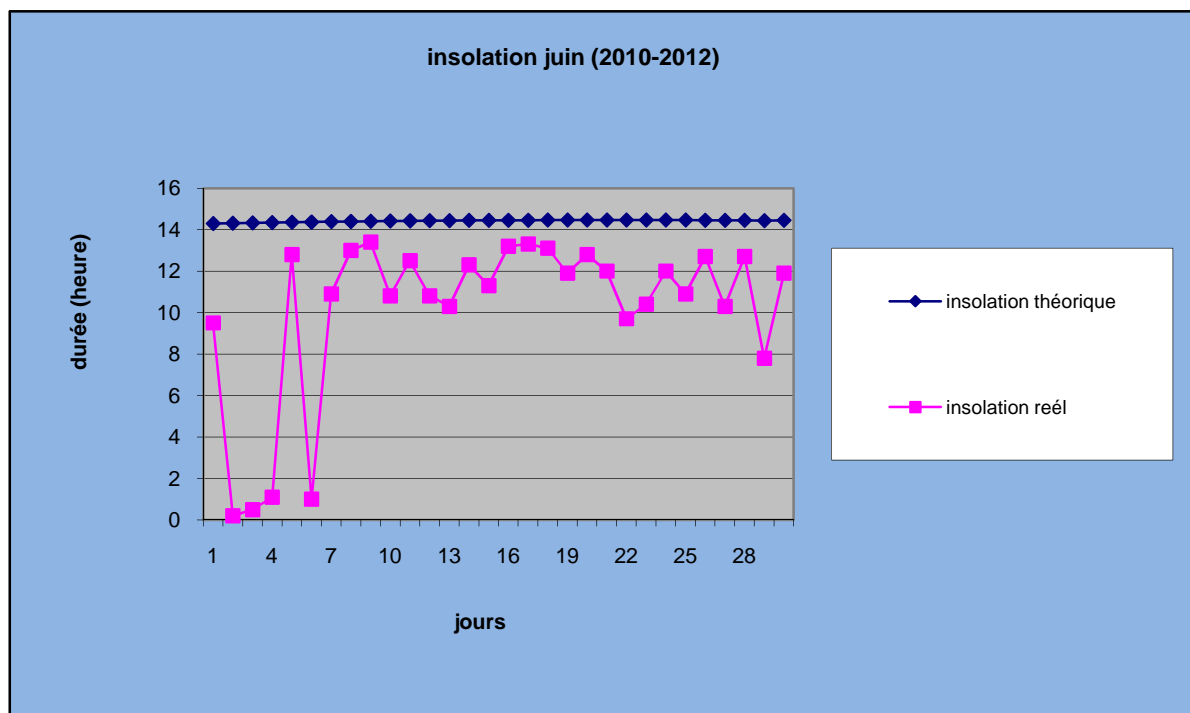


Figure III-9: Insolation réel mois juin (2010-2012)

Tableau III-8: Relevé de l'insolation réel mois juillet (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	14,43	12,8	16	14,22	12,8
2	14,42	10,5	17	14,21	12,7
3	14,41	13,1	18	14,19	12,8
4	14,4	13,3	19	14,16	12,9
5	14,39	13	20	14,14	12,1
6	14,38	13,4	21	14,12	13
7	14,37	13,1	22	14,1	12,6
8	14,36	10,7	23	14,08	12,7
9	14,34	12,8	24	14,05	12,7
10	14,33	6,5	25	14,03	13
11	14,31	13	26	14	13
12	14,3	13,2	27	13,98	13,2
13	14,28	13	28	13,95	13,1
14	14,26	12,6	29	13,93	13
15	14,24	12,6	30	13,9	13
			31	13,87	12,9

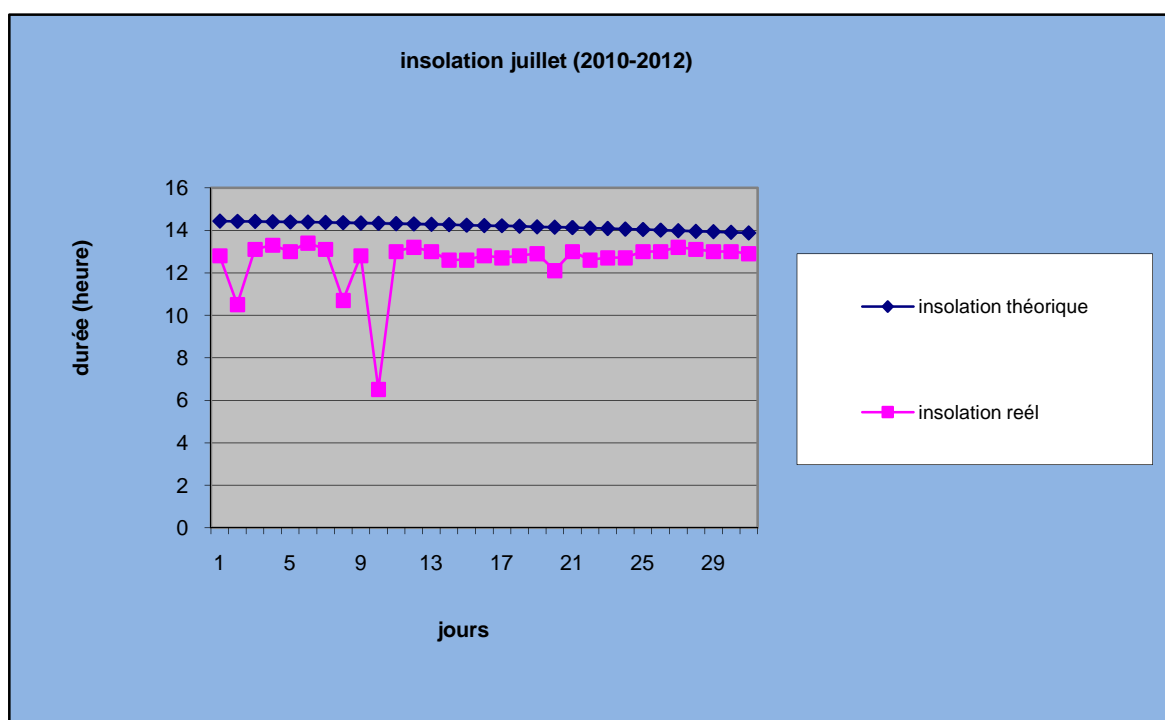


Figure III-10: Insolation réel mois juillet (2010-2012)

Tableau III-9: Relevé de l'insolation réel mois aout (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	13,84	12,7	16	13,38	12,1
2	13,82	12,4	17	13,35	12,3
3	13,79	12,4	18	13,31	11,3
4	13,76	12,5	19	13,28	10,5
5	13,73	12,6	20	13,21	7,6
6	13,7	12,2	21	13,18	10,3
7	13,67	11,5	22	13,14	2,4
8	13,64	8,9	23	13,11	6
9	13,61	10,4	24	13,07	6,5
10	13,57	4,3	25	13,04	11,7
11	13,54	11,8	26	13	11
12	13,51	9,9	27	12,96	11,4
13	13,48	7,7	28	12,93	10,6
14	13,45	12,7	29	12,89	10,1
15	13,41	12,4	30	12,86	9
			31	12,86	6,2

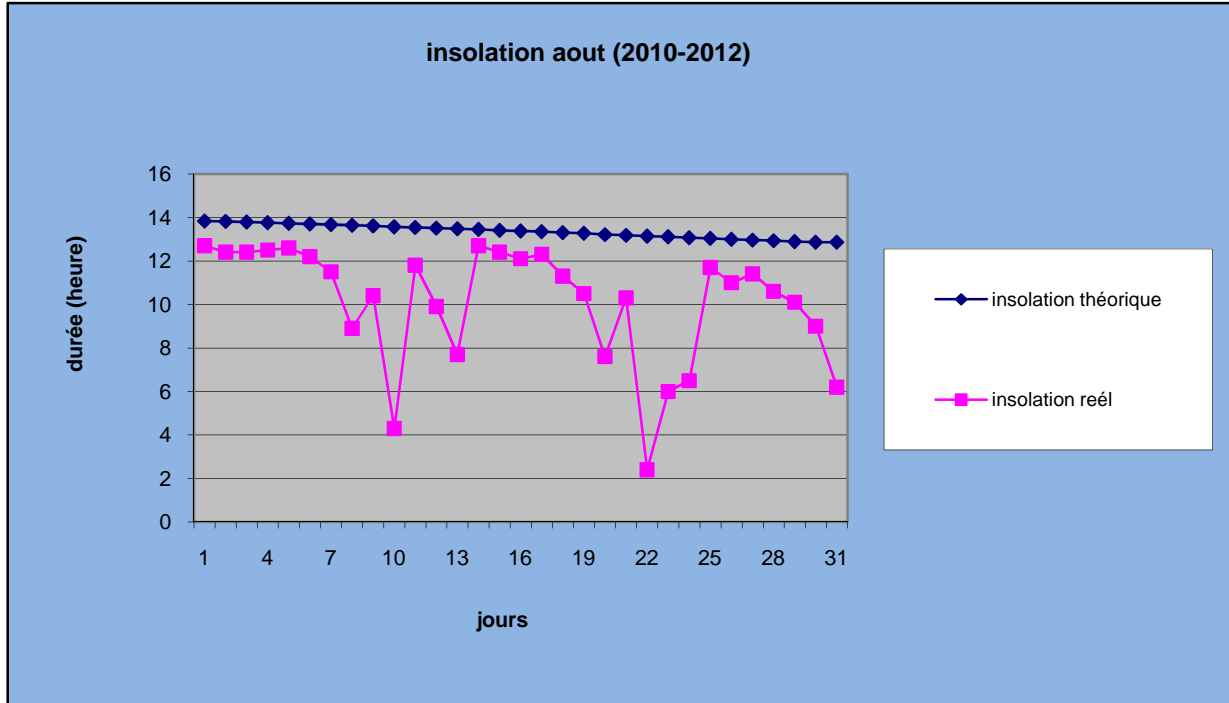


Figure III-11: Insolation réel mois aout (2010-2012)

Tableau III-10: Relevé de l'insolation réel mois septembre (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	12,82	9,6	16	12,26	9,6
2	12,78	8,4	17	12,22	8,2
3	12,75	11,4	18	12,19	10,5
4	12,71	11	19	12,15	10,8
5	12,67	10,2	20	12,11	4,8
6	12,64	11,2	21	12,07	9,4
7	12,6	10,9	22	12,03	3
8	12,56	10,7	23	12	7,2
9	12,53	11,3	24	11,96	3,5
10	12,49	7,5	25	11,92	10,4
11	12,45	9,5	26	11,88	10,5
12	12,41	8,1	27	11,84	10,8
13	12,38	9	28	11,81	9,9
14	12,34	8	29	11,77	5,9
15	12,3	7,4	30	11,73	9,7

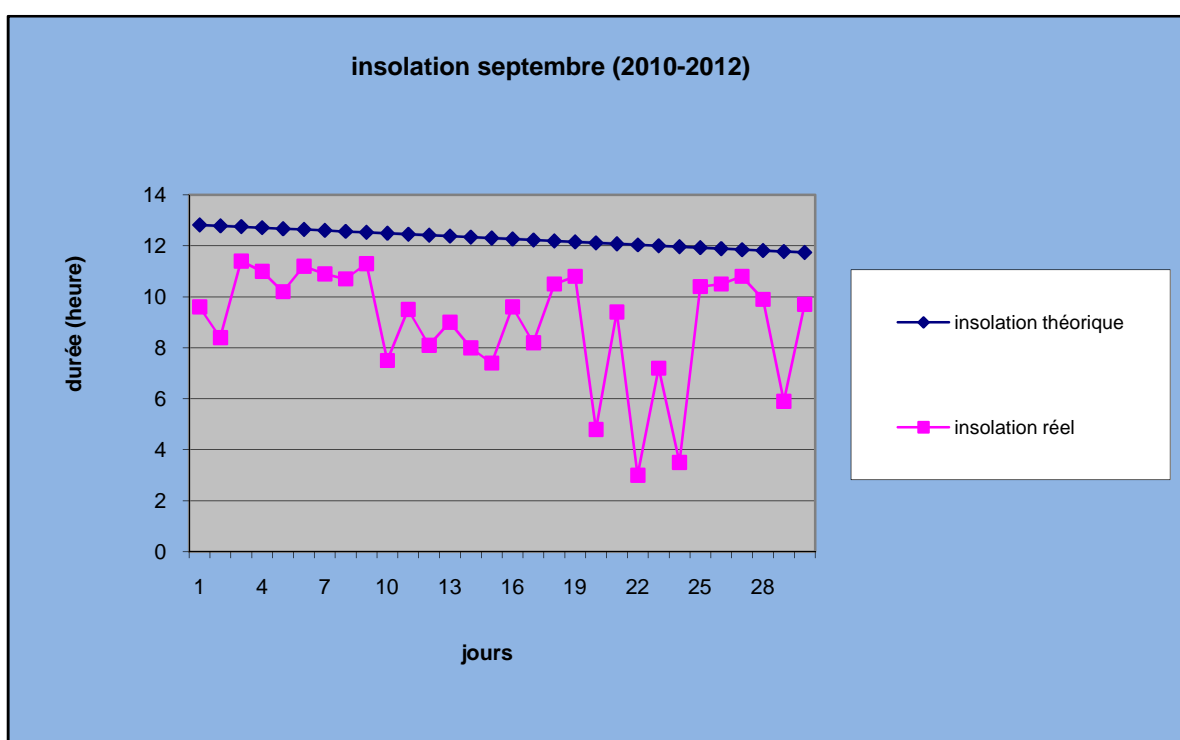


Figure III-12: Insolation réel mois septembre (2010-2012)

Tableau III-11: Relevé de l'insolation réel mois octobre (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	11,69	10	16	11,13	9,5
2	11,65	9,6	17	11,09	6
3	11,62	6,2	18	11,05	8,3
4	11,58	9,4	19	11,02	5,2
5	11,54	6,7	20	10,98	6,2
6	11,5	8,4	21	10,94	0
7	11,46	6,5	22	10,91	0
8	11,43	7,3	23	10,87	4,1
9	11,39	6,2	24	10,83	3,1
10	11,35	7,8	25	10,8	0
11	11,31	9	26	10,76	1,5
12	11,28	8,7	27	10,73	1,5
13	11,24	3,8	28	10,69	0
14	11,2	3,3	29	10,66	0,7
15	11,16	8,7	30	10,62	0,2
			31	10,59	2,3

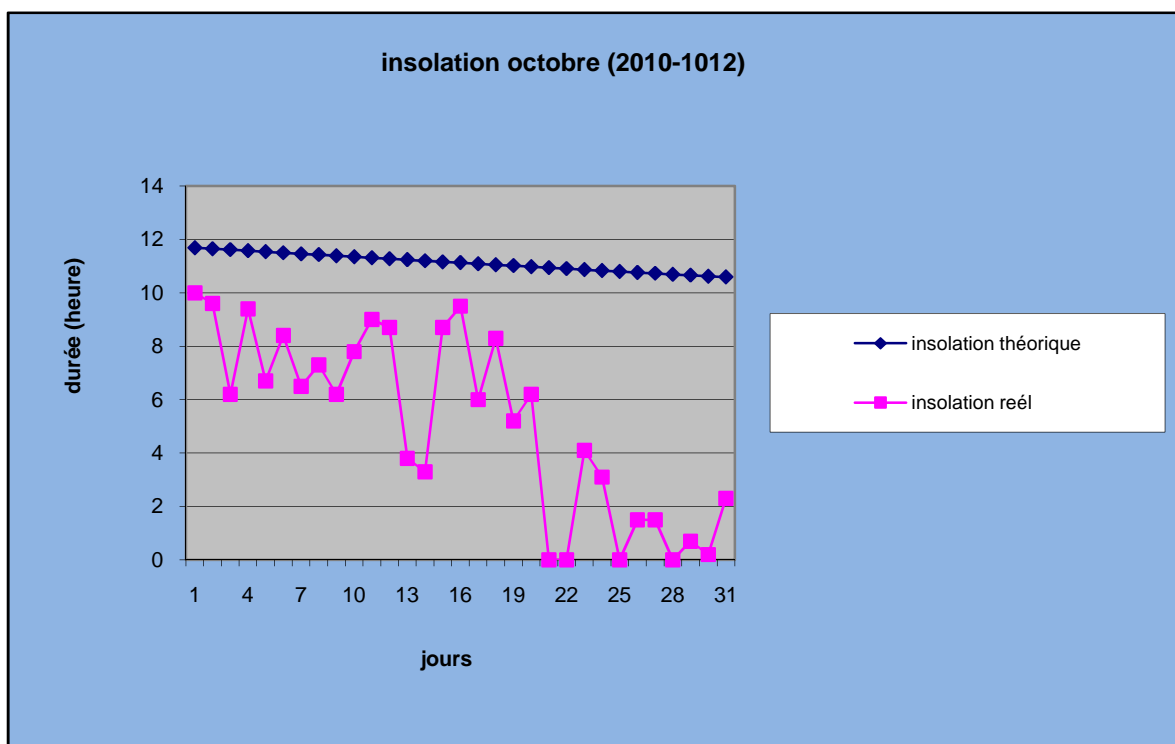


Figure III-13: Insolation réelle mois octobre (2010-2012)

Tableau III-12: Relevé de l'insolation réel mois novembre (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	10,55	0	16	10,08	5,1
2	10,52	8,4	17	10,05	5,4
3	10,49	2	18	10,03	9,2
4	10,45	9,9	19	10	8,9
5	10,42	4,6	20	9,97	8,7
6	10,39	4,3	21	9,95	3
7	10,35	2,3	22	9,92	0,8
8	10,32	9	23	9,9	3
9	10,29	9,5	24	9,87	8,1
10	10,26	6,5	25	9,85	3,2
11	10,23	9,2	26	9,83	2,4
12	10,2	10,8	27	9,81	8,1
13	10,17	1,5	28	9,79	6,4
14	10,14	9,4	29	9,77	4,7
15	10,11	0,5	30	9,75	1,5

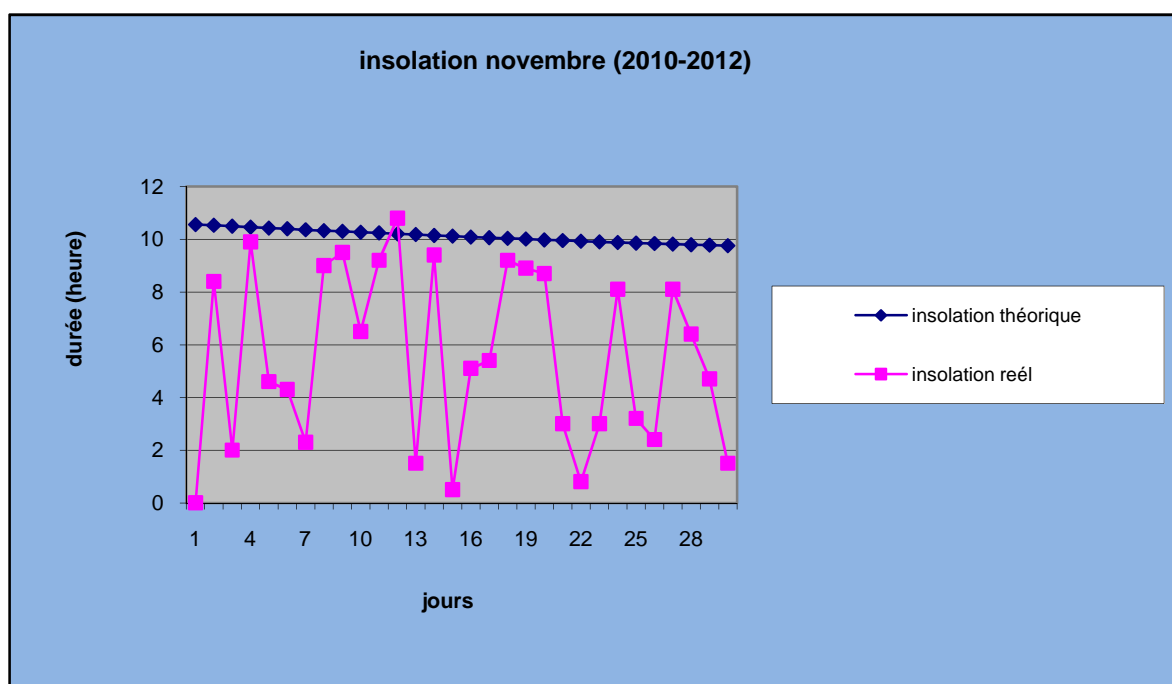


Figure III-14: Insolation réel mois novembre (2010-2012)

Tableau III-13: Relevé de l'insolation réel mois décembre (2010-2012)

Jours	Insolation théorique	Insolation réel	Jours	Insolation théorique	Insolation réel
1	9,73	11	16	9,54	0,3
2	9,71	9	17	9,54	2
3	9,69	1,8	18	9,54	1,3
4	9,68	0,7	19	9,53	1,1
5	9,66	0,6	20	9,53	10
6	9,64	0,5	21	9,53	10
7	9,63	1,1	22	9,53	2,3
8	9,62	1,4	23	9,53	2,3
9	9,61	3,5	24	9,53	1,5
10	9,59	1,6	25	9,54	10
11	9,58	0,7	26	9,54	0,7
12	9,57	0,5	27	9,54	0,4
13	9,57	0,4	28	9,55	0,6
14	9,56	0,5	29	9,56	0,3
15	9,55	0,2	30	9,56	0,2
			31	9,57	1

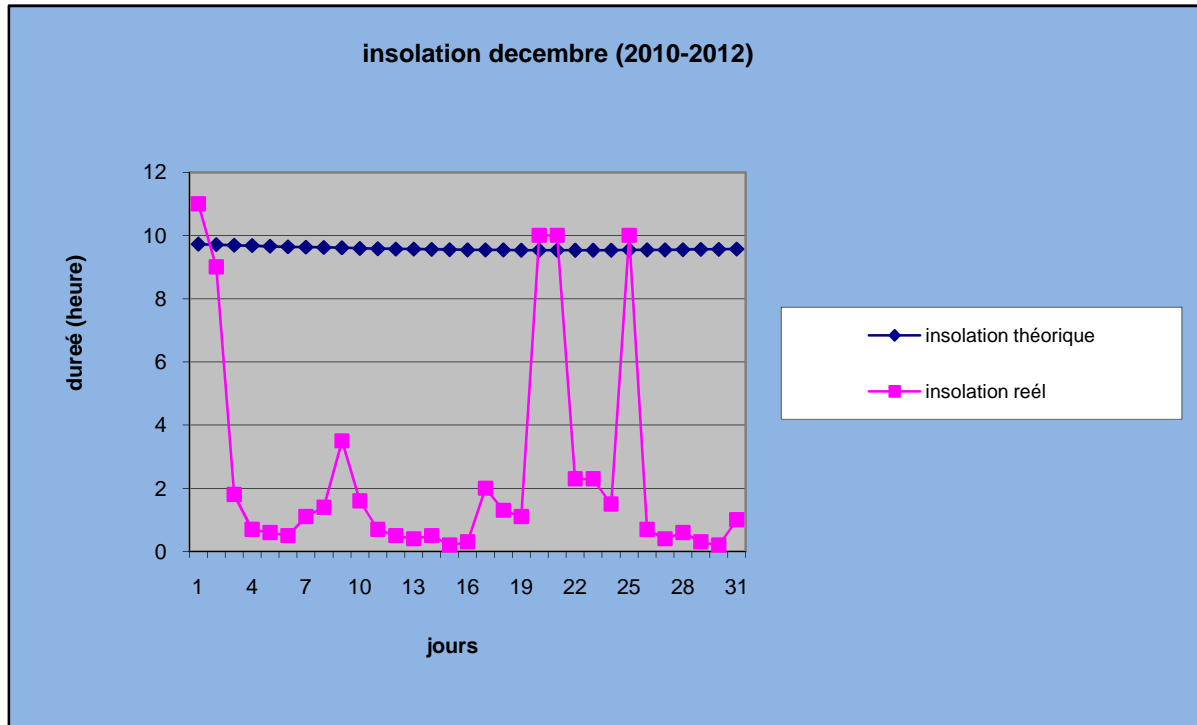


Figure III-15: Insolation réel mois décembre (2010-2012)

La température des panneaux ;  $T_j$  est évaluée à partir des données d'ensoleillement et de la température ambiante par la formule données par [34]

$$T_j = T_a + E_s \cdot \frac{N_{\text{oct}} - 20}{800} \quad (\text{III-1})$$

$N_{\text{OCT}}$  : est le « normal operating cell température » ; condition de température nominale de fonctionnement, c'est un paramètre fourni par le constructeur des panneaux solaires.

Une  $N_{\text{OCT}}$  trop élevée diminue l'efficacité du panneau .Les valeurs standard sont comprises entre 40 et 50°C, au delà le rendement de la cellule photovoltaïque diminue.

Ce model ne prend pas en compte les effets d'influence du vent sur les échanges thermiques

#### III-4 Modèle de distribution de l'ensoleillement

Le modèle génère une distribution  $I(d, t)$  de l'ensoleillement cumulé  $E(d)$  (mesuré ou estimé) durant une journée (d) en fonction du temps sous forme d'une gaussienne. Cette distribution est définie de l'heure de lever du soleil  $EMT_{\text{SUNRISE}}$  jusqu'à l'heure de son coucher  $EMT_{\text{SUNSET}}$  pour un jour (d) d'un mois (m).

$$I(d, t) = I_{\text{max}}(d) \sin\left(\frac{\pi}{DL(t)}\right) \quad (\text{III-2})$$

Le temps (t) est l'heure décimale (t=0 au lever du soleil),  $DL(d)$  est la durée du jour (d), et

$I_{\text{max}}(d)$  est la valeur de  $I(d, t)$  à  $t=DL(d)/2$  Puisque la quantité d'énergie solaire cumulé  $E(d)$

est obtenue par l'intégration  $I(d, t)$  sur le jour (d),  $E(d)$  est exprimé par :

$$E(d) = \int_0^{DL(d)} I_{\text{max}}(d) \sin\left(\frac{\pi}{DL(t)}\right) dt \quad (\text{III-3})$$

Cela conduit à l'expression de  $I_{\text{max}}(d)$  :

$$I_{\text{max}}(d) = \frac{\pi E(d)}{2DL(d)} \quad (\text{III-4})$$



La durée du jour  $d$  est donnée par l'équation:  $DL(d) = EMT_{SUNSET}(d) - EMT_{SUNRISE}(d)$  (III-5)

Avec :  $EMT(d) = 12 - Te(d) + L + \frac{\beta \cos^{-1}(tg(\delta(d))tg(\phi))}{15}$  (III-6)

$Te(d) = 0.123 \cos(N(d) + 87) - \frac{\sin(2(N(d) + 10))}{6}$  (III-7)

$N(d) = 0.988 [D(d) + 30.3(m - 1)]$  (III-8)

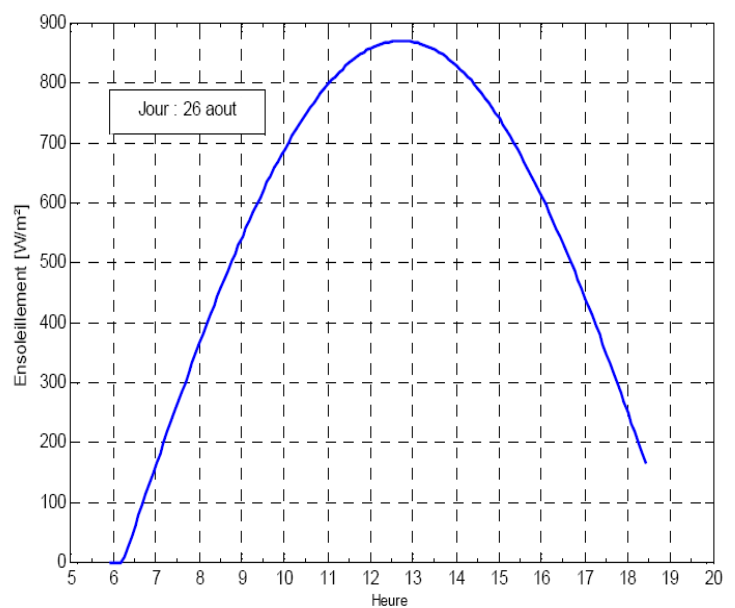
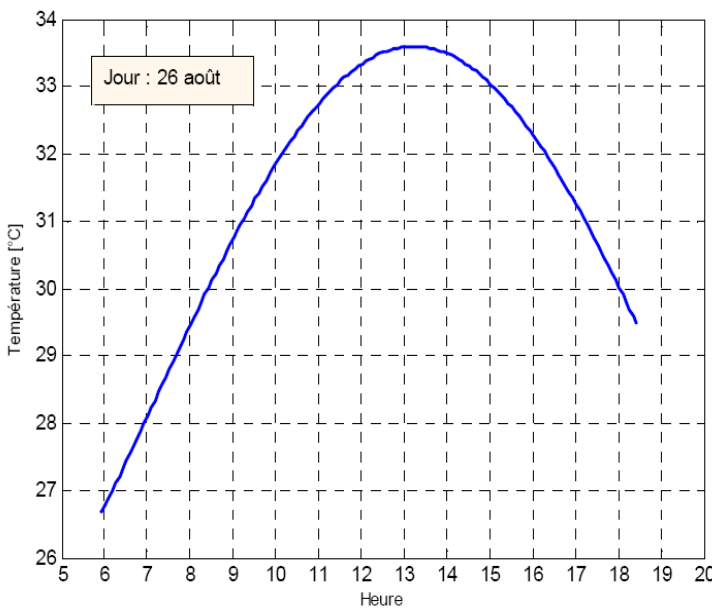
$EMT$  représente les heures de lever et de coucher du soleil du jour  $d$  ; avec  $\beta = 1$  pour le coucher du soleil et  $\beta = -1$  pour son lever.  $L$  est la longitude,  $\phi$  est la latitude,  $Te(d)$  est l'équation de temps (en heure),  $\delta(d)$  est la déclinaison en (degré),  $D(d)$  représente le numéro du jour dans le mois ( $m$ ), le numéro du mois (janvier=1), et  $N(d)$  le numéro du jour dans l'année.

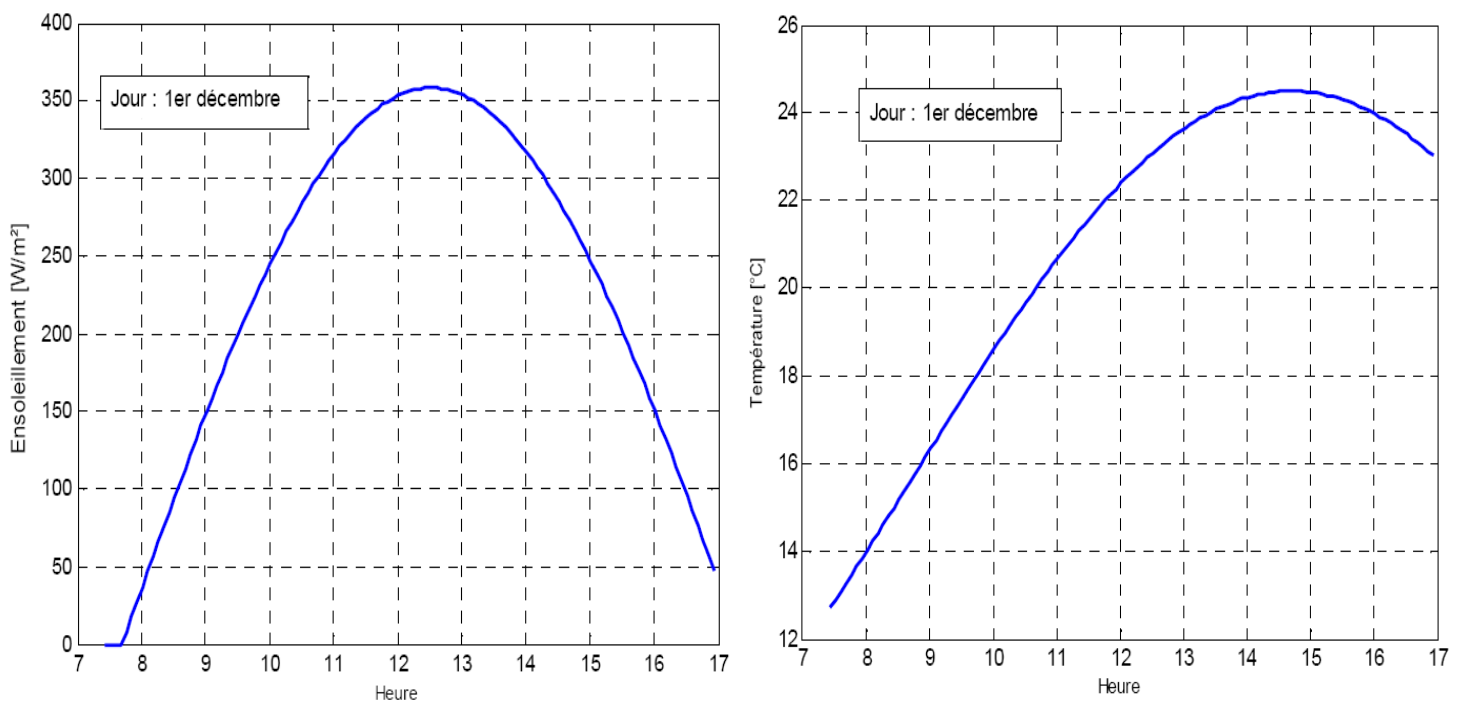
### III-5 Modèle de distribution de la température

Ce modèle utilise la température ambiante minimale  $T_{min}(d)$  et maximale  $T_{max}(d)$  (mesurées ou estimées) pour un jour  $d$  en vue d'exprimer la distribution sous forme sinusoïdale, de la température ambiante  $T(d, t)$  durant toute la journée ( $d$ ).

$T(d, t) = \frac{T_{max}(d) + T_{min}(d)}{2} + \frac{T_{max}(d) - T_{min}(d)}{2} \sin(\frac{\pi(t-1)}{12})$  (III-9)

Le temps ( $t$ ) est compté depuis le lever du soleil pour le jour ( $d$ ).





**Figure III-16:** distribution de la Température ambiante et ensoleillement pour une journée(d) estimée [59].

Tableau III-14: Calcul de la Tj des cellules avec les données du site de mesure

ES	TA	TJ AVEC NOCT=40°C	TJ AVEC NOCT=50°C
9,82	9,60	9,8455	9,96825
10,72	8,6	8,868	9,002
11,82	8,9	9,1955	9,34325
12,97	12,7	13,02425	13,186375
13,93	16,7	17,04825	17,222375
14,42	22,9	23,2605	23,44075
14,19	25,6	25,95475	26,132125
13,35	25,5	25,83375	26,000625
12,27	21,1	21,40675	21,560125
11,13	16,4	16,67825	16,817375
10,11	10,4	10,65275	10,779125
9,58	7	7,2395	7,35925

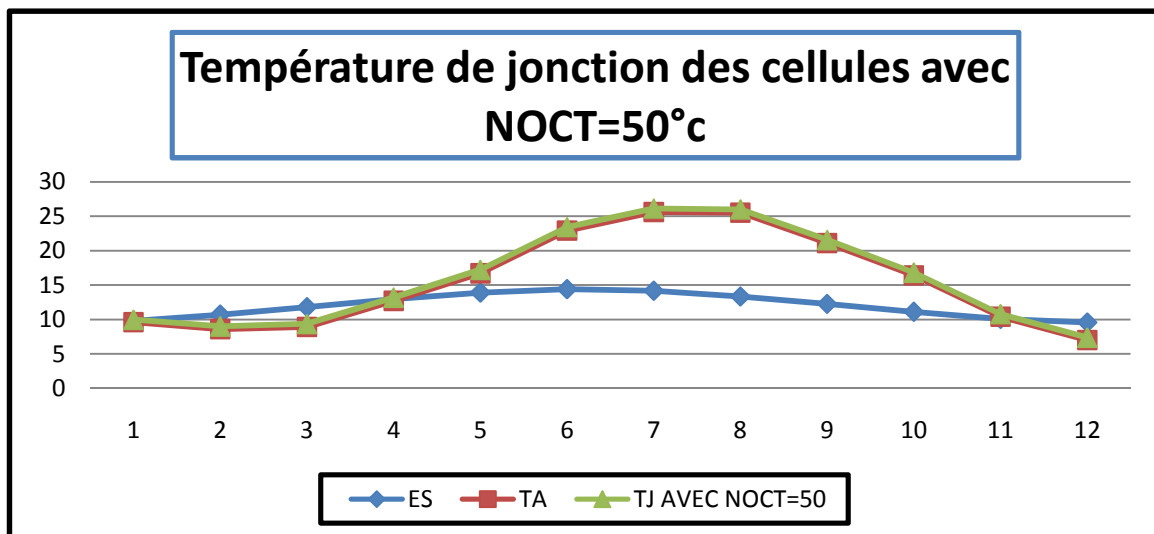
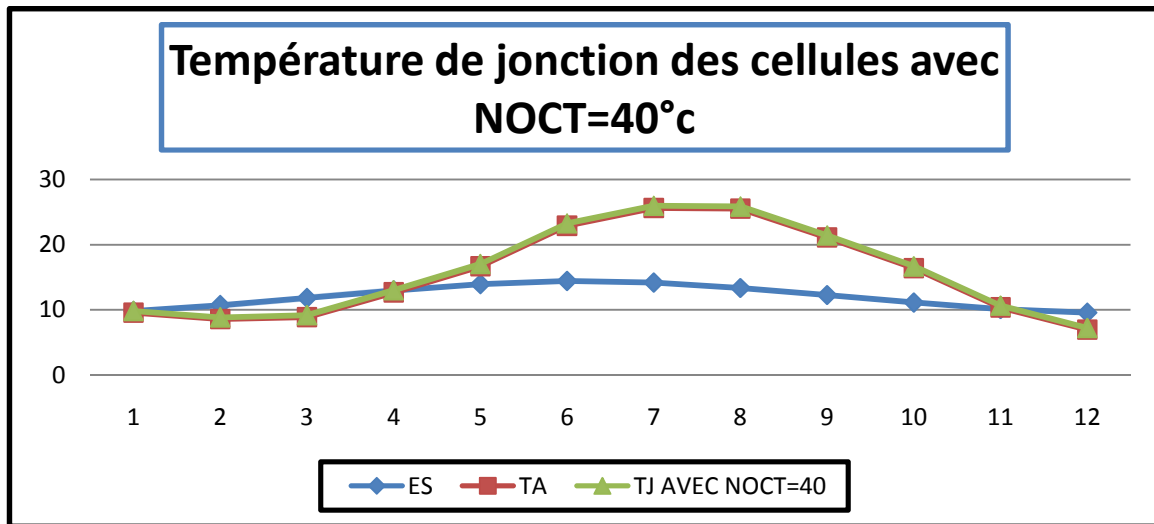
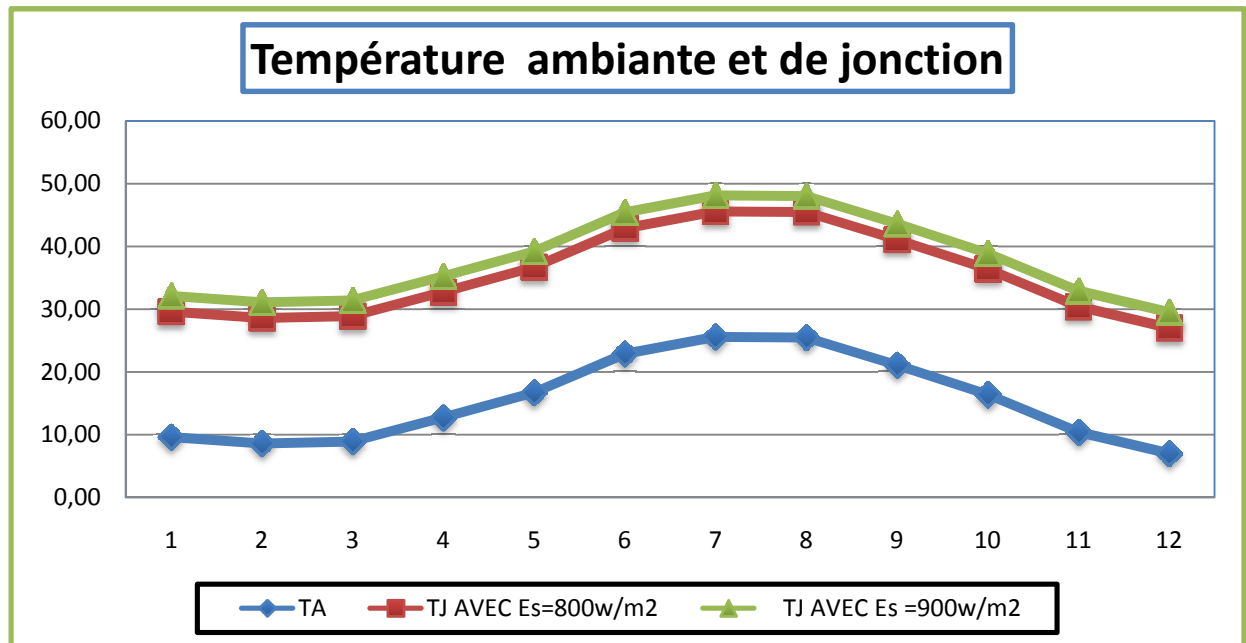


Figure III-17: Température de jonction des cellules sous différents conditions nominales de fonctionnement (NOCT).



*Figure III-18: Température de jonction des cellules sous différents ensoleillements.*

La figure (III-18) nous montre la température de jonction des cellules sous différents ensoleillements (800w/m<sup>2</sup>, 900w/m<sup>2</sup>), et de la température de l'air ambiant .c'est une caractéristique calculée à partir de l'équation (III-1) et suite aux données météorologiques.

### III-6 Conclusion

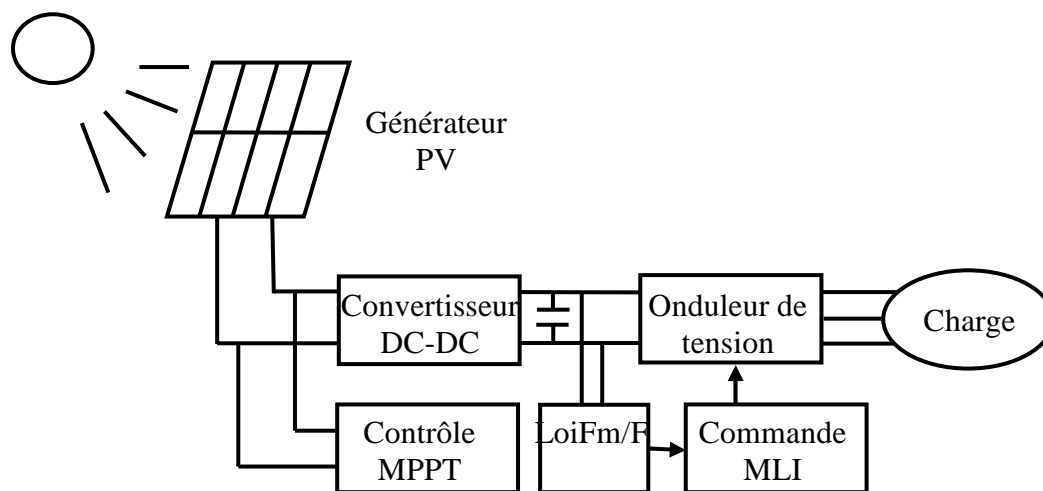
D'après l'historiques des données météorologiques sur l'ensoleillement et la température sur un site de mesure, que nous considérons c'est le même site de production et de consommation, il s'est avéré que la région de souk ahras dispose d'un gisement solaire exceptionnellement élevé .la durée d'insolation sur la quasi-totalité de la région dépasse les 2500 heures annuellement.

Le coût élevé du générateur photovoltaïque nous impose une utilisation optimale de ce dernier pour aboutir à un fonctionnement économique et rentable, il est donc recommandé de bien connaître les conditions et la variation climatique du site choisi dès la conception du projet photovoltaïque.

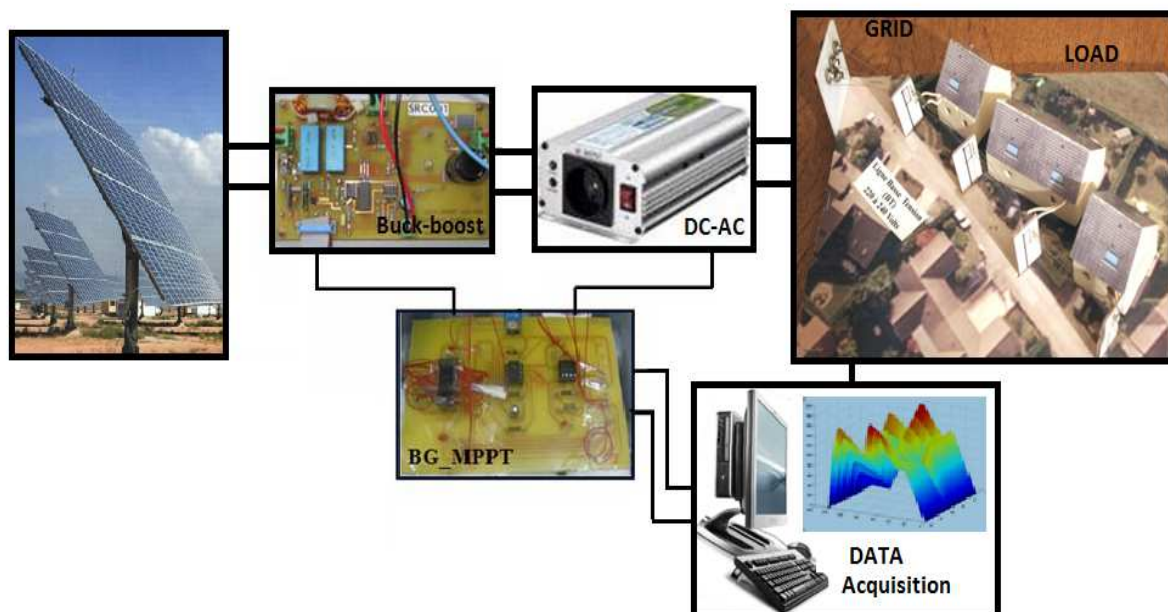
Pour cela nous avons procédé au choix d'un système de production d'énergie électrique par un générateur photovoltaïque sans stockage d'énergie, pour minimiser au maximum le coût de l'installation.

Ce système peut être couplé au réseau électrique basse tension si l'on a plusieurs jours successifs défavorables à la production d'électricité.

Les deux architectures sont respectivement représentées par les figures (III-19) et (III-20)

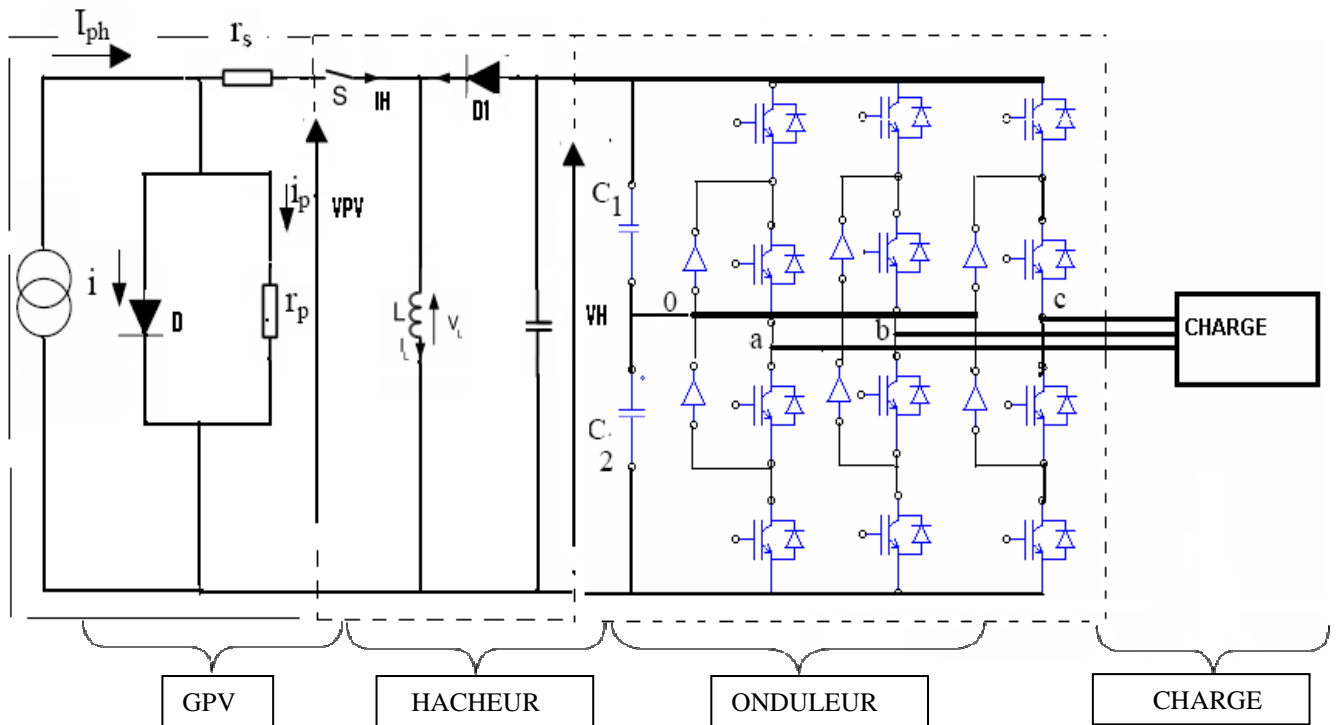


*Figure III-19: Installation photovoltaïque autonome.*



*Figure III-20: Installation photovoltaïque couplée au réseau.*

## III-7 Etude du système



**Figure III-21: Schéma électrique de la chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.**

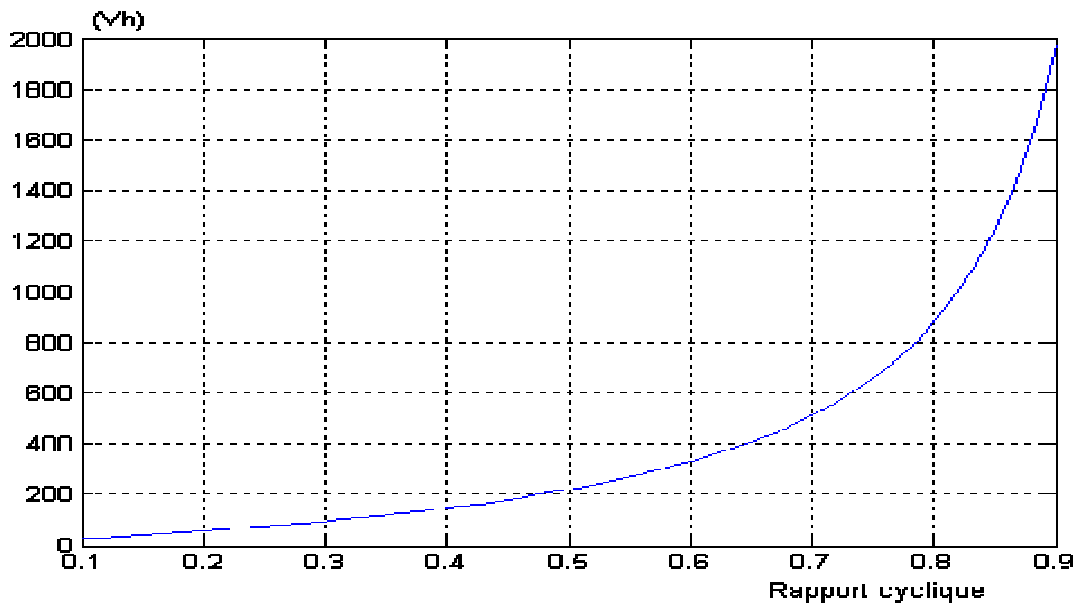
La figure (III-21) représente le modèle électrique de toute la chaîne de conversion photovoltaïque proposés qui y constituée par, le modèle électrique à une diode du GPV, un étage d'adaptation formé par un hacheur (dévolveur-survolteur), qui joue le rôle d'interface entre la source et la charge, un onduleur triphasés type NPC à trois niveaux à commande MLI et une charge variable [34].

Le convertisseur DC-DC « dévolveur –survolteur » qui est utilisé comme adaptateur source – charge lorsque la charge à besoin d'une tension supérieur ou inférieur a celle du générateur PV. L'adaptation entre la source et la charge est réalisée par la variation du rapport cyclique  $\alpha$ . Nous avons considéré que le rendement du hacheur est de 100 %, alors les relations électriques entre les grandeurs d'entrée du convertisseur (hacheur) (correspondant à  $I_{PV}$  et  $V_{PV}$  du générateur) et de sortie du hacheur (respectivement  $I_H$  et  $V_H$ ) ne dépendent que du rapport cyclique  $\alpha$  comme c'était développé dans le chapitre précédent.

La tension de sortie du hacheur en fonction de la tension d'entrée et du rapport cyclique est exprimée selon

$$V_H = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_{PV} \quad (\text{III-10})$$

- Si la tension aux bornes de la charge est supérieure à celle du générateur  $\Rightarrow \alpha > 0.5$ .
- Si la tension aux bornes de la charge est inférieure à celle du générateur  $\Rightarrow \alpha < 0.5$ .
- La tension de sortie est minimale lorsque  $\alpha = 0$ .
- Pour  $\alpha$  proche de 1 ; la tension de sortie devient très grande et très sensible au changement du rapport cyclique  $\alpha$ , de plus l'influence des pertes dans le circuit limite la tension maximale de sortie du hacheur.



**Figure III-22: La tension de sortie du hacheur en fonction de la tension d'entrée et du rapport cyclique  $\alpha$ .**

**On** remarque bien que lorsque le rapport cyclique est inférieur à 0.5 la tension de sortie du hacheur est toujours inférieure à celle d'entrée que nous l'avons pris dans notre calcul égal à 220v, dans cette zone de travail notre hacheur est dévolteur.

Au delà de 0.5 la tension de sortie du hacheur est toujours supérieure à celle d'entrée, dans cette zone de travail notre hacheur est survolteur.

L'algorithme de recherche peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implantation choisie et des performances recherchées. Cependant au final, tous les algorithmes performants doivent jouer sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé.

Dans la littérature, nous pouvons trouver différents types d'algorithmes de commandes extrémales présentant plus ou moins de précisions. A partir de l'évaluation ou de la mesure de la puissance fournie par le générateur, ces commandes utilisent le rapport cyclique du convertisseur de puissance pour appliquer une action de contrôle adéquate sur l'étage.

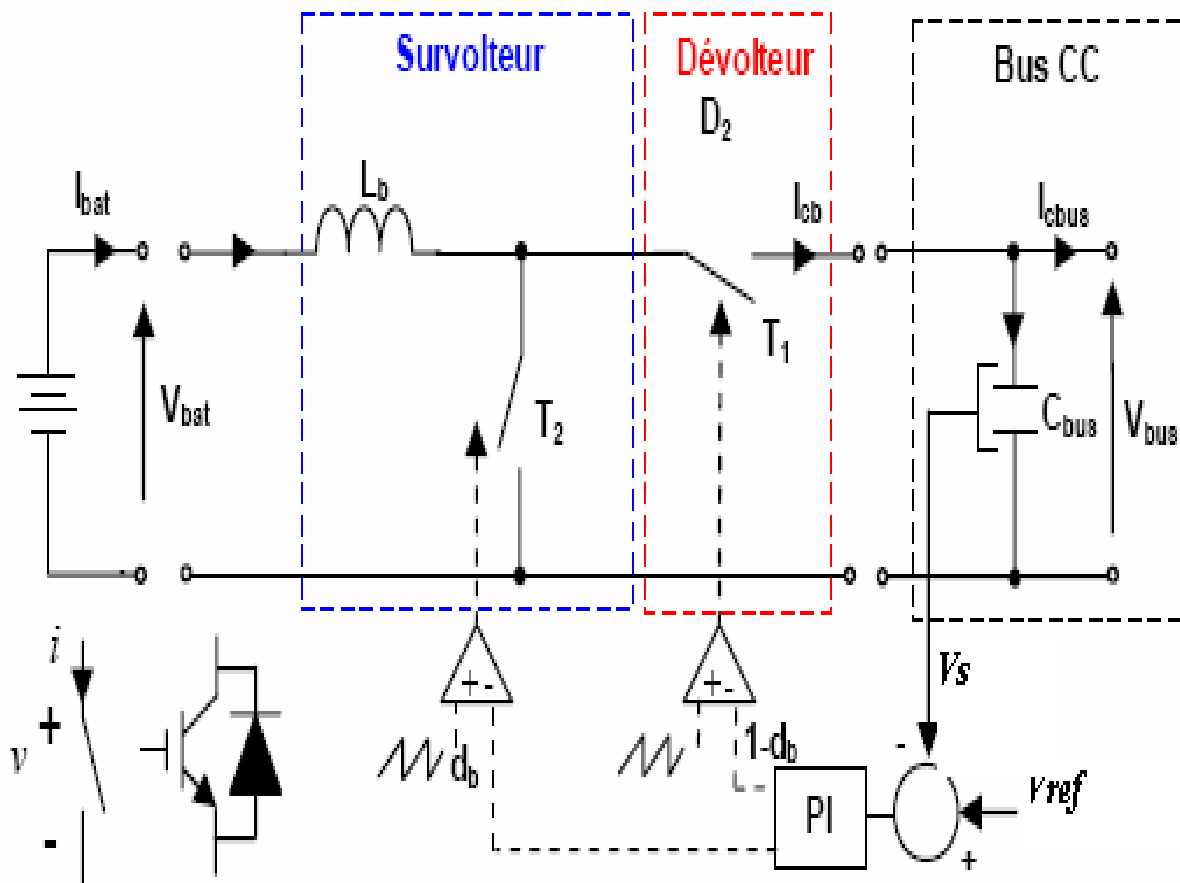
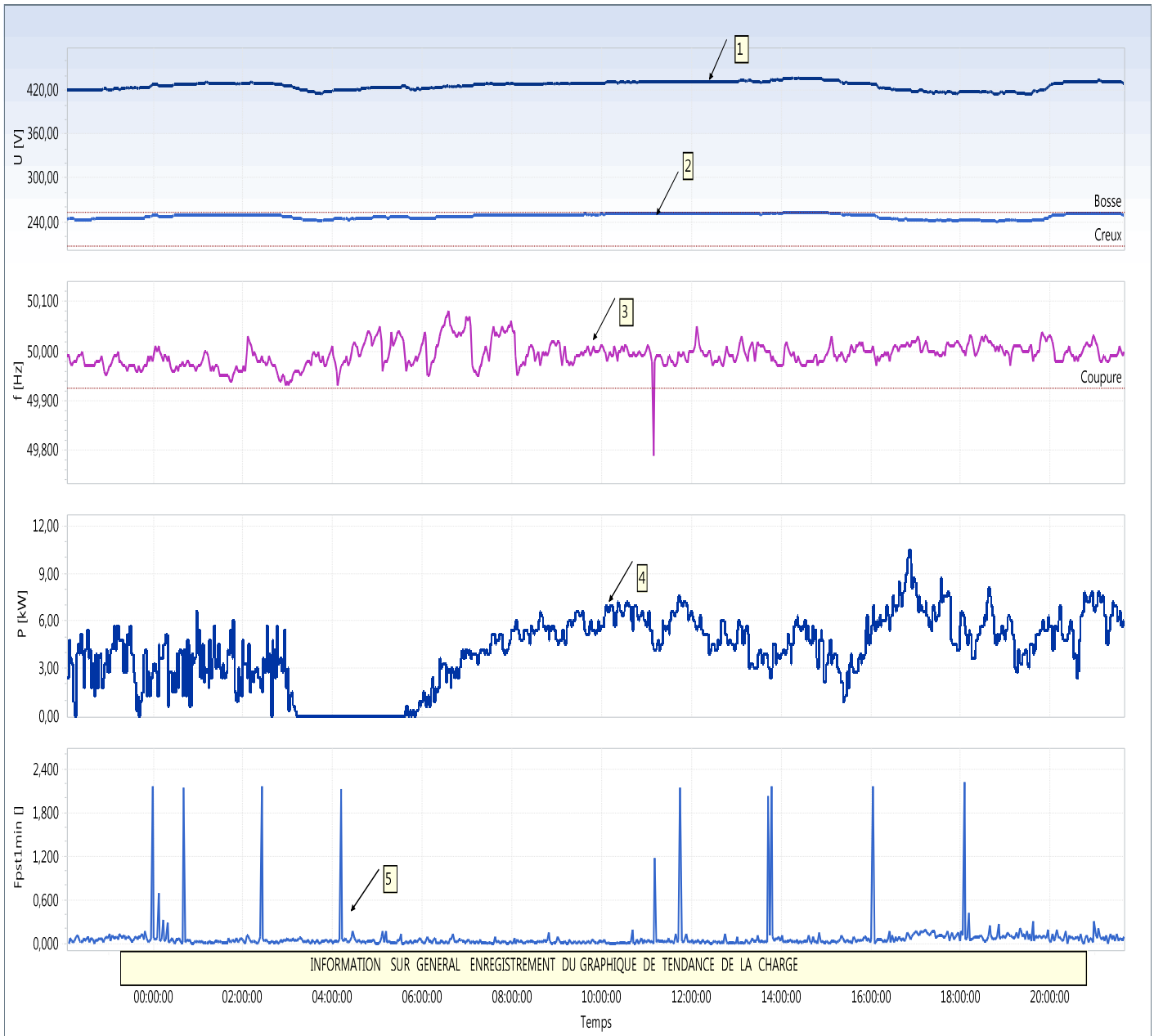


Figure III-23: Structure du hacheur dévolteur-survolteur avec sa commande .



### III-7-1\_Profil et graphique de charge

Dans l'étude du fonctionnement d'un système électrique, il est plus pratique de présenter les utilisateurs par groupe ; il est alors intéressant de connaître leurs lois d'évolution de la puissance totale demandée au cours du temps.



**Figure III-24: Profil de consommation pour une charge triphasée :(1) Tension composée. (2)Tension simple. (3) Fréquence. (4)Puissance consommée. (5)Flicker.**

Pour le profil de consommation ; Pconst (t) ; nous utilisons des données fournies par la Société de distribution d'électricité (sonelgaz). Elle correspondent à la puissance électrique consommée pour une administration comportant toutes les commodités.

Ce consommateur à besoin de (13.5) kW/h par jour conformément au tableau de relevé indiqué ci-dessous

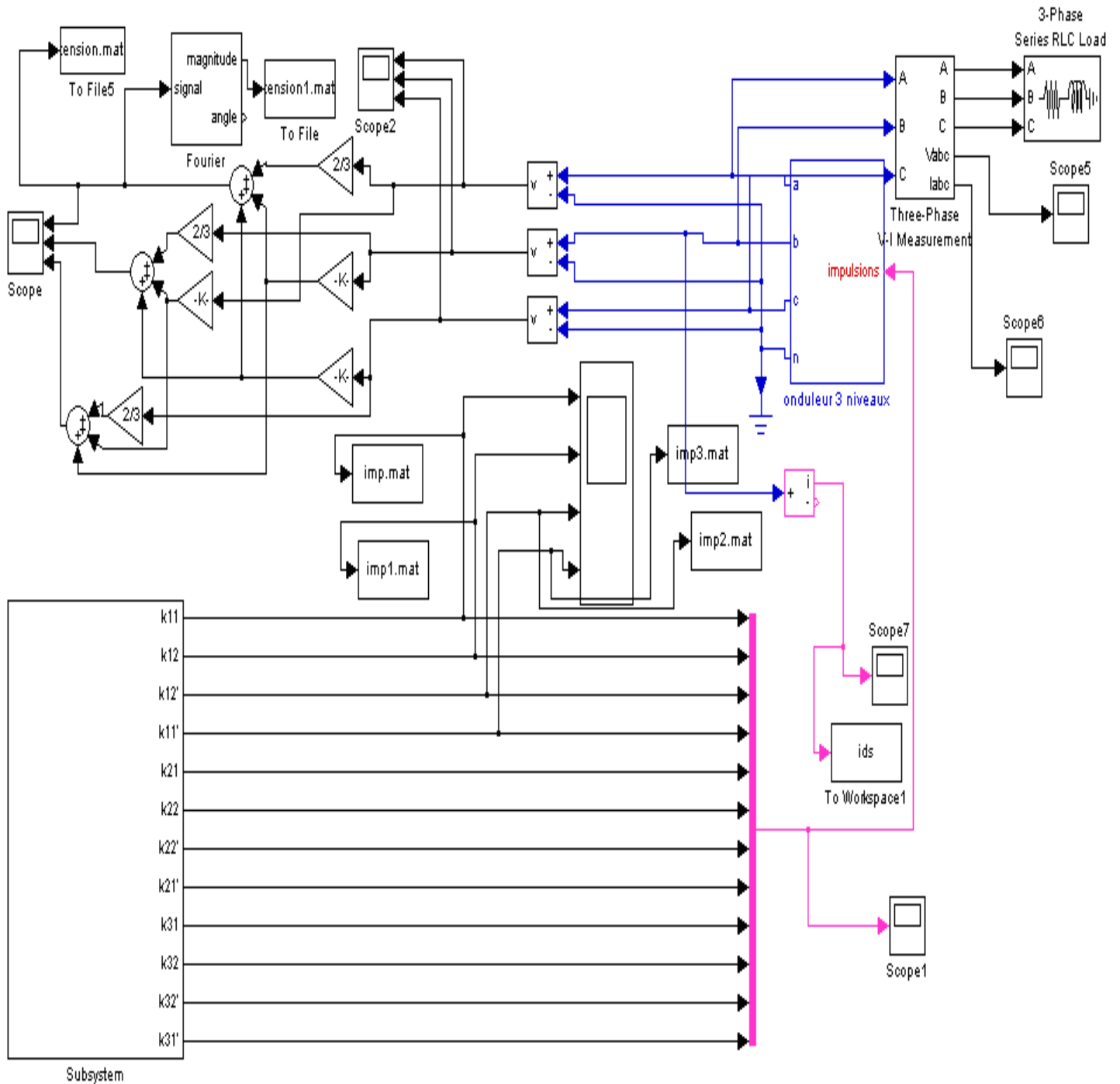
**Tableau III-15: Relevé des valeurs max des courants de phases.**

Campagne		Date du relevé	Commentaire			
		31/01/2009 13:38				
	Date	I1	I2	I3	Ne	
Max I1	29/01/09 - 00:50	4.7	5.1	0.8	4.1	%In
Max I2	29/01/09 - 11:06	2.8	8.1	0.0	6.9	%In
Max I3	27/01/09 - 23:52	4.6	5.0	0.8	4.0	%In
Max Ne	29/01/09 - 11:06	2.8	8.1	0.0	6.9	%In
Minima de T° Ambiante		28/01/09 - 06:45	14	°C		
Maxima de T° Ambiante		29/01/09 - 13:45	18	°C		
					IMPRIMER	
					QUITTER	

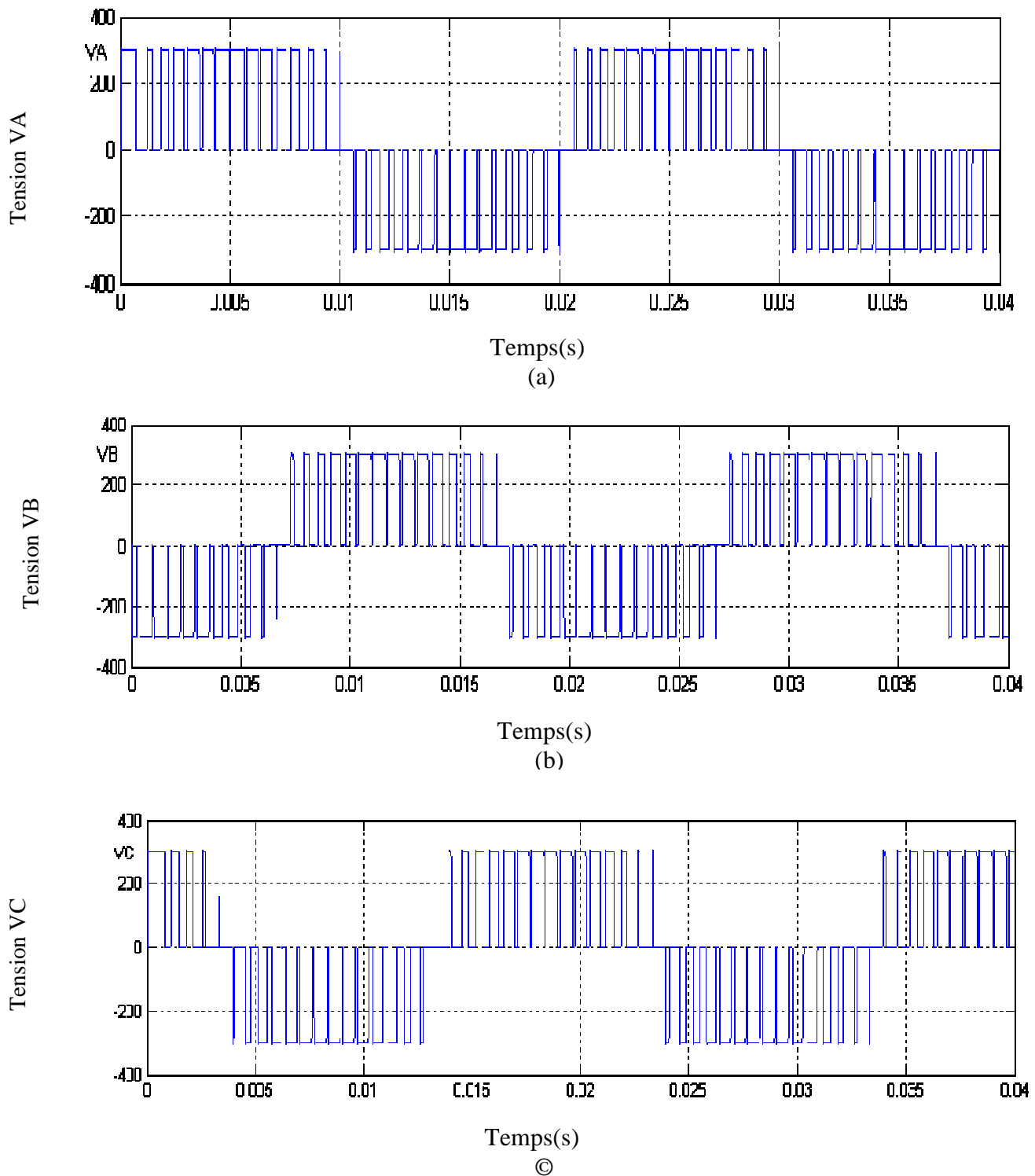
Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à courant continu peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et de courant pendant les changements dans le fonctionnement du système.

### III-8 Résultats de simulation

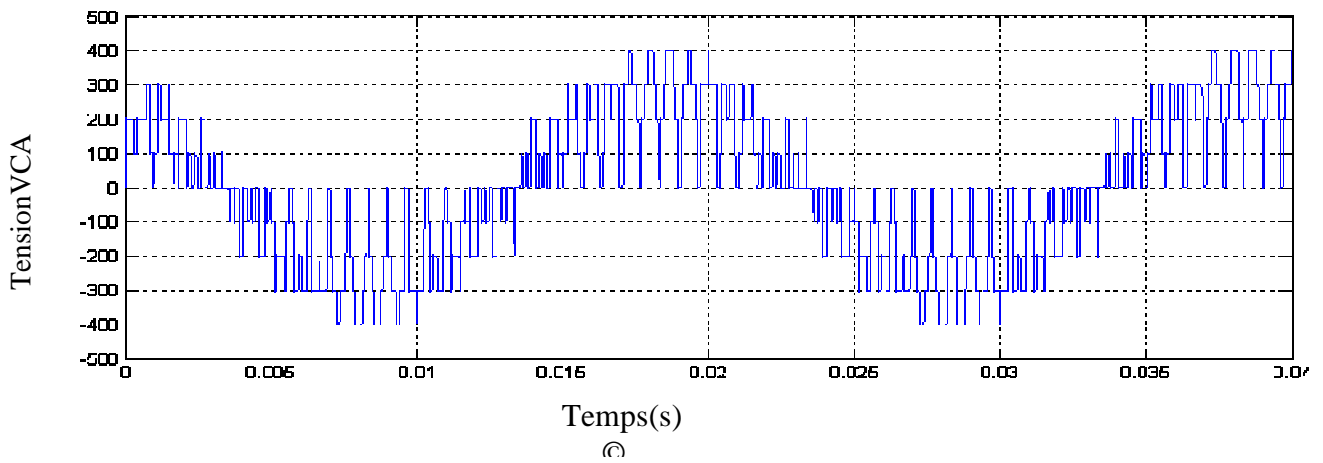
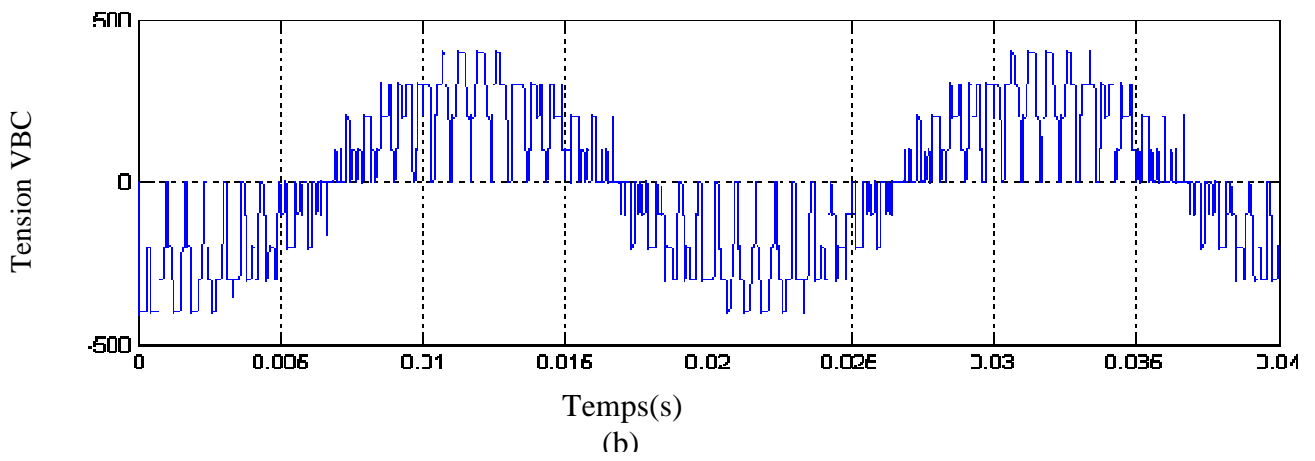
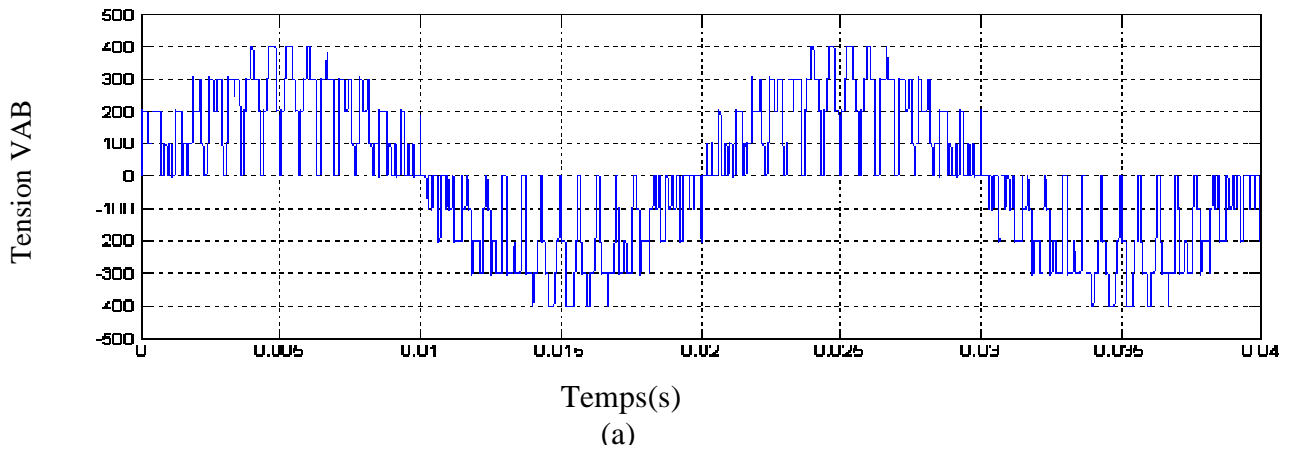
Le système de conversion d'énergie électrique avec une charge triphasé est respectivement représenté par le schéma synoptique de la figure (III-25).



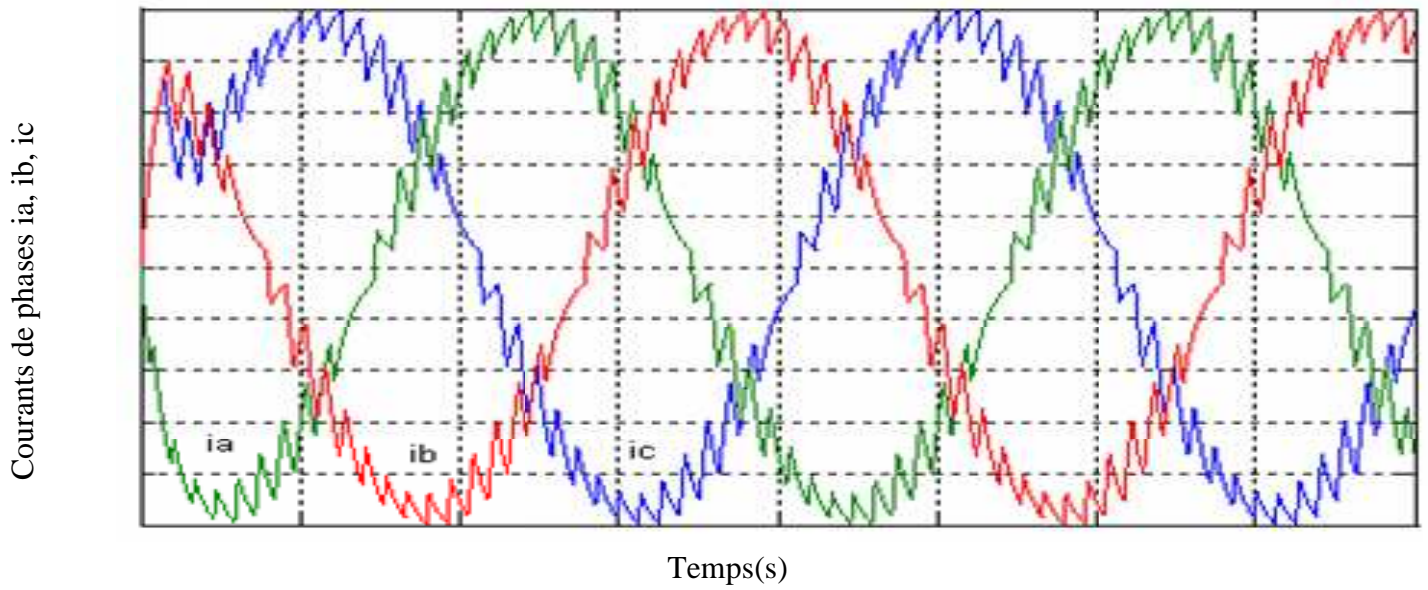
**Figure III-25: Schéma synoptique du système de conversion d'énergie avec charge triphasée.**



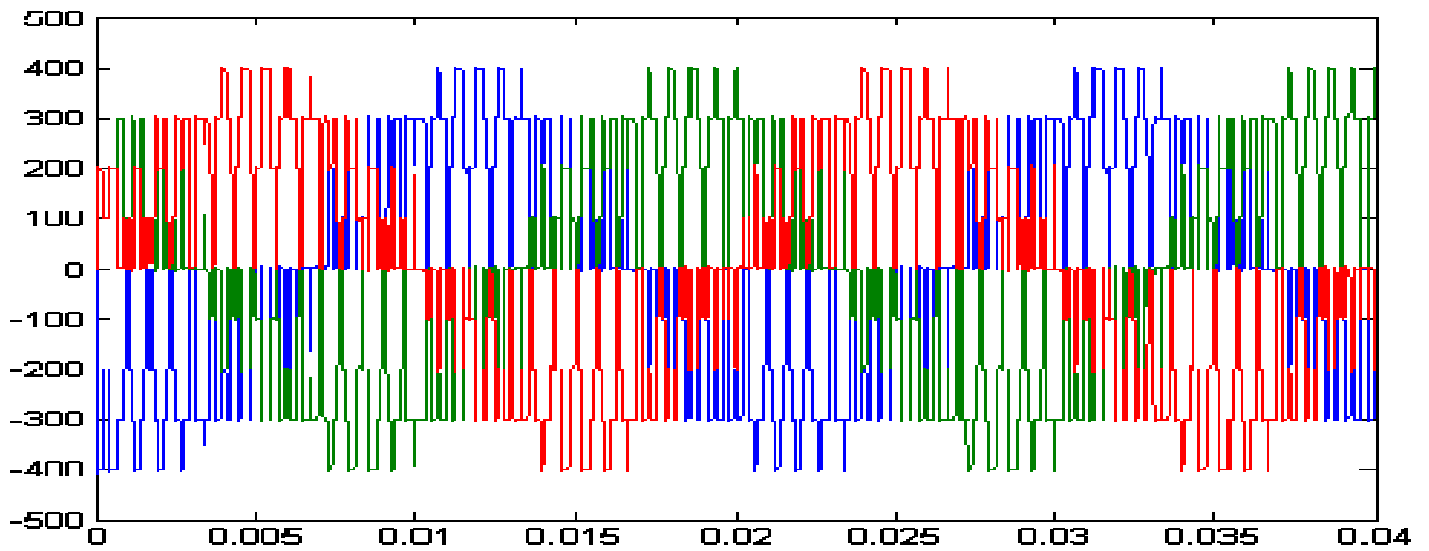
**Figure III-26: Allure des tensions de sortie sans la charge : (a) Tension simple Va. (b) Tension simple Vb. (c) Tension simple Vc.**



**Figure III-27: Allure des tensions de sortie sans la charge : (a) Tension composée Vab. (b) Tension composée Vbc. (c) Tension composée Vca.**



*Figure III-28: Allure des courants des phases avec charge RL.*



*Figure III-29: Allure des tensions composés avec charge RL.*

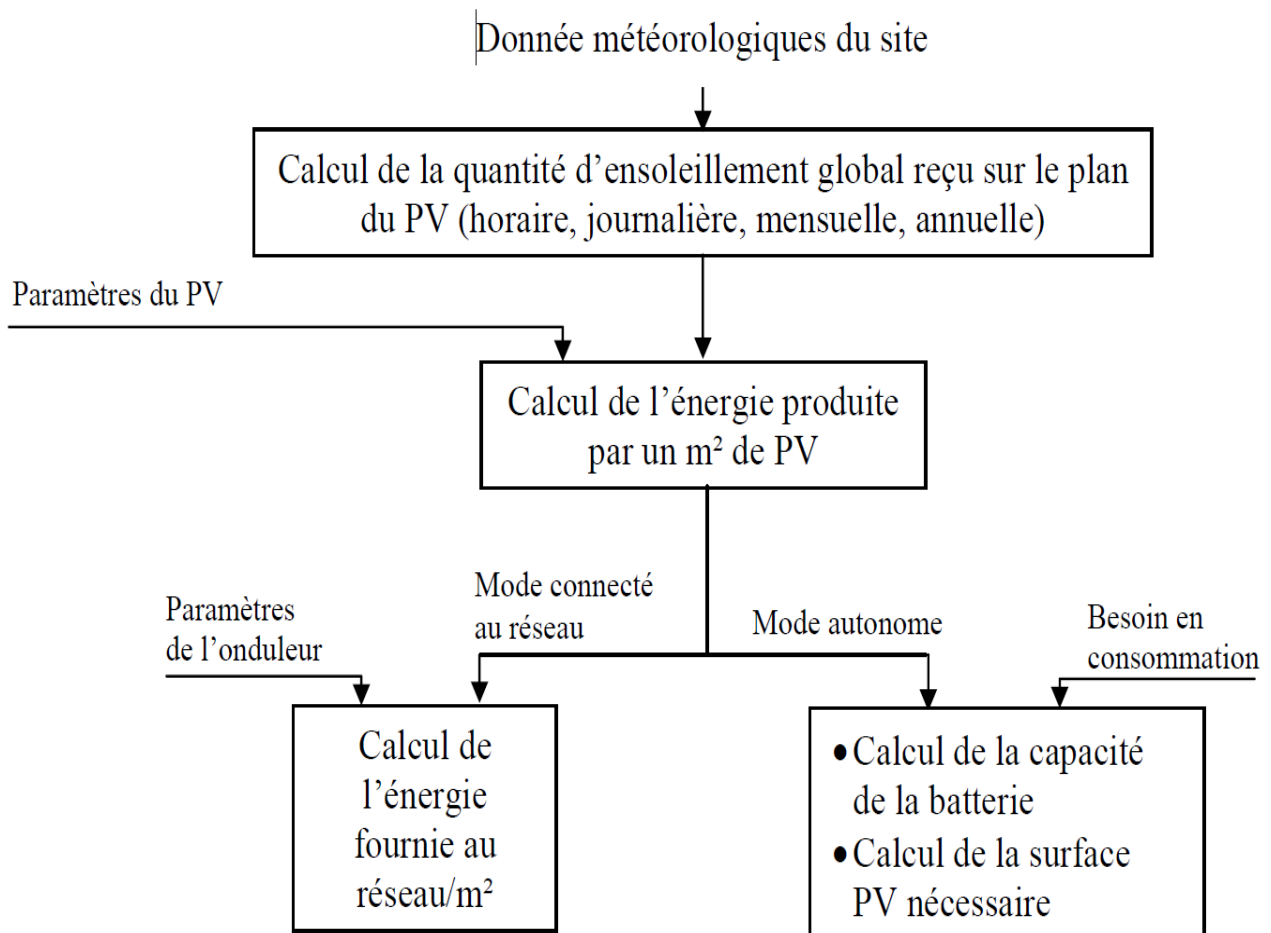
### III-9 Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque exige la connaissance de:

- la nature de l'installation (autonome, hybride ou en réseau).
- la quantité d'énergie solaire reçue au site d'installation.
- les caractéristiques des panneaux à utiliser.
- les caractéristiques des autres sources.
- les paramètres des étages de conditionnement.
- le besoin en énergie du site.

L'objectif consiste à déterminer la surface nécessaire en panneaux photovoltaïques en vue de répondre aux besoins en énergie du site.

Le schéma fonctionnel du modèle énergétique d'une installation est le suivant



*Figure III-30: Schéma fonctionnel du modèle énergétique d'une installation.*

### III-9-1 Calcul de l'énergie produite par un PV

Le rendement moyen d'un champ PV est définie par

$$\eta_{PV} = \eta_r (1 - \beta_{PV} (T_C - T_r)) \quad (\text{III-11})$$

Avec :  $T_C$  la température de cellule,  $T_r$  la température de référence (25°C),  $\beta_{PV}$  le coefficient de température pour le rendement du PV,  $\eta_r$  le rendement du PV à la température de référence.

$$T_C \text{ Peut être calculé par : } T_C = T_a + E_s \cdot \frac{N_{\text{oct}} - 20}{800}$$

$\eta_r$ ,  $\beta_{PV}$ ,  $N_{OCT}$  Dépendent du type de module PV considéré. A titre d'exemple, le tableau suivant donne ces paramètres pour différents types de PV

**Tableau III-16: Paramètres pour différents types de modules PV .**

Type du module	$\eta_r$ (%)	NOCT (%)	$\beta_{PV}$ (% / °C)
Si monocristallin	<b>13,0</b>	<b>45</b>	<b>0,40</b>
Si poly-cristallin	<b>11,0</b>	<b>45</b>	<b>0,40</b>
Si amorphe	<b>5,0</b>	<b>50</b>	<b>0,11</b>
CdTe	<b>7,0</b>	<b>46</b>	<b>0,24</b>
CuInSe2 (CIS)	<b>7,5</b>	<b>47</b>	<b>0,46</b>

L'énergie produite le champ PV par m<sup>2</sup> s'exprime donc par

$$W_{PV} = \eta_{PV} \cdot H_t \quad (\text{III-12})$$

$H_t$  Est la quantité d'ensoleillement global reçue sur le plan du PV par m<sup>2</sup> (horaire, journalière, mensuelle ou annuelle). Cette quantité est définie selon le site.

### III-9-2 Mode connecté au réseau

L'énergie fournie au réseau par m<sup>2</sup> dépend uniquement du rendement de l'onduleur. Ce dernier doit avoir une puissance égale à la puissance nominale du champ :

$$W_{f-RX} = W_{PV} \cdot \eta_{OND} \quad (\text{III-13})$$



$\eta_{OND}$  Représente le rendement de l'onduleur.

$$\eta_{OND} = \frac{P_s}{P_e} = \frac{V_{AC} \cdot I_{AC} \cdot \cos \phi}{V_{dC} \cdot I_{dC}} \quad (\text{III-14})$$

$P_s$ ,  $V_{AC}$ ,  $I_{AC}$ ,  $P_e$ ,  $V_{dC}$ ,  $I_{dC}$  Représentent respectivement les puissances, les tensions et les

courants d'entrée – sortie de l'onduleur et  $\phi$  l'angle de déphasage de la charge. Cependant, en fonction de la configuration du réseau, toute cette énergie n'est pas nécessairement absorbée par le réseau. L'énergie par m<sup>2</sup> réellement absorbée est alors :

$$W_{Abs-RX} = W_{f-RX} \cdot \eta_{Abs} \quad (\text{III-15})$$

$W_{Abs-RX}$  Le taux d'absorption de l'énergie par le réseau.

### III-10 CONCLUSION

On a vu que la température et l'éclairement varient simultanément et en permanence et ont une influence importantes et des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïque.

Une analyse statistique de la température extérieure du site d'implantation qui est le site de production à été faite dans le but d'optimiser les systèmes photovoltaïques. Une augmentation de la température extérieure peut diminuer la performance des panneaux et une diminution de la température peut l'augmenter, durant l'étude nous n'avons pas pris en considération les autres facteurs climatiques (vent, orage) qui sont des facteurs non maîtrisables et difficilement quantifiables.

Nous avons proposés un modèle économique complet des éléments de la chaîne de conversion d'énergie, qui dépend des facteurs climatiques (éclairement, température), ces derniers influents fortement sur le rendement.

Il est important de savoir que lors du dimensionnement d'une installation ces facteurs seront impérativement à prendre en compte [35,37].

On remarque bien que l'onduleur impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeurs d'impulsions figure (26,27), ces créneaux ne sont pas synchronisés avec les tensions sinusoïdales du réseau (en cas de raccordement du système photovoltaïque avec le réseau basse tension).

Le convertisseur NPC permet d'obtenir des performances statiques et dynamiques très intéressantes et ses applications sont diverses de nos jours, le NPC apparaît également prometteur dans le domaine de l'énergie renouvelable et pour les applications basse tension [38,39]. Cependant l'utilisation d'un pont diviseur capacitif fait apparaître des problèmes d'équilibrages du point milieu. Le potentiel de celui-ci peut onduler avec une amplitude importante, voir diverger dans certains cas. La conversion basée sur l'onduleur NPC a permis d'extraire le maximum de puissance que le panneau photovoltaïque peut transformer [40].

Les solutions innovantes d'insertion des systèmes photovoltaïques sans stockage d'énergie au sein des réseaux de distribution peuvent intéresser certains consommateurs de petite taille et de même profil que la charge étudiée tels que les relais, station de pompage, signalisation routière et les administrations.

Le site de mesure qu'on a choisi est qui est considéré comme site de production dispose de beaucoup d'opportunités pour le développement de l'énergie photovoltaïque à savoir ,un gisement solaire très important dépassant ainsi 2692 heures d'ensoleillement sur la quasi totalité de la région, ce site peut orienter certains acteurs et les intéressés vers ce secteur de marché énergétique, reste uniquement le lancement d'un cadre réglementaire favorable pour l'investissement.



CHAPITRE IV

Intégration Des Générateurs Photovoltaïque Dans un Réseau Électrique

## IV-1 INTRODUCTION

L'objectif fondamental des productions décentralisées est de fournir aux clients de l'énergie électrique avec une parfaite continuité, sous forme de tension qui doit être parfaitement sinusoïdale, avec des valeurs d'amplitudes et de fréquence préétablies (en fonction du point de raccordement). Tout écart à cet objectif qui dépasse le seuil établi dans les normes représente une perturbation qui peut être gênante pour le fonctionnement des charges connectées. De plus, il ya des clients spéciaux qui ont besoin d'une qualité supérieure à celle disponible ; c'est pourquoi, il est nécessaire de réaliser des modifications dans le système de production ou dans les installations des clients, soit en modifiant leurs caractéristiques, soit en ajoutant des systèmes d'amélioration pour permettre le fonctionnement correct de tous les systèmes connectés.

Dans ce chapitre, nous aborderons au premier lieu l'amélioration de la qualité d'énergie fournie par les générateurs photovoltaïque .Une fois constaté la nécessité d'améliorer la qualité, il faut choisir la technique à implanter, il n'ya pas une solution standard pour ce type de problème, nous avons choisi la mieux adaptée en prenant en compte certains critères techniques et économiques. On 'a vu dans le chapitre précédent que la tension de sortie de l'onduleur n'est pas parfaitement sinusoïdale ; l'onduleur délivre une tension modulée, celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD), on obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable et pouvant être injectée dans le réseau de distribution basse tension.

Par la suite nous exposons la problématique de l'intégration des productions décentralisés notamment celle à base des générateurs photovoltaïque dans le réseau électrique.

## IV-2 Qualité de l'énergie

Aujourd'hui le terme le plus répandu dans le domaine scientifique et industriel, accepté et utilisé par L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), est celui de **qualité de l'énergie**. Ce concept détermine les paramètres qui définissent les propriétés du produit électricité en conditions normales en termes de continuité de la fourniture et des caractéristiques de la tension (symétrie, fréquence, amplitude, forme d'onde)[43]. Par conséquent, cette vision essaie de déterminer les caractéristiques de la fourniture électriques afin de limiter son influence sur les différentes charges connectées au réseau et on même temps de limiter l'influence des charges sur le réseau de façon à éviter la modification de ces caractéristiques.

La plus part des mesures et définitions utilisées dans les normes sont basées sur l'analyse de la fréquence et de la tension. Ces normes tracent les exigences des consommateurs au système de production et les exigences des systèmes aux consommateurs, donc une exigence à double sens .Lorsque le contrat précise que tel ou tel appareil ou équipement doit être conforme à une norme relative aux perturbations, le problème parait bien défini, et le résoudre n'est plus qu'une question de technologie. Plusieurs études ont été réalisées sur la qualité de l'énergie électrique des systèmes isolés comportant des sources d'énergie renouvelable.

Ces information sur la qualité de l'énergie sont particulièrement stratégiques pour les compagnies d'électricité en cas de raccordement de la production photovoltaïque dans le réseau de distribution dans le contexte de la libération du marché de l'énergie recherchent la meilleure compétitivité, la satisfaction des besoins et la fidélisation de leurs clients .L'énergie électrique ne doit plus seulement être immédiatement disponible en quantité suffisante , mais doit aussi être de qualité ,c'est à dire propre et fiable .C'est un besoin nouveau dont la satisfaction constitue un réel défi technique pour les distributeurs d'énergie .

Le domaine de l'amélioration de la qualité est un domaine d'étude non seulement technique mais également économique, car l'objectif est de trouver une solution qui permettra de réduire à un niveau acceptable les couts .Ces couts dépends énormément du type de charge et il est donc nécessaire de réaliser une étude individualisée pour chaque installation. De plus, quelques analystes proposent de tenir compte non seulement des couts matériaux mais aussi des couts dérivés.

Pour notre étude la solution consiste à agir de façon préventive en vue de mettre en conformité tout les éléments constituant la chaine de conversion photovoltaïque pour cela nous avons introduit un filtre à la sortie de l'onduleur pour obtenir une tension idéale (onde sinusoïdale), utilisable et pouvant être injecté dans le réseau de distribution basse tension, figure (1).

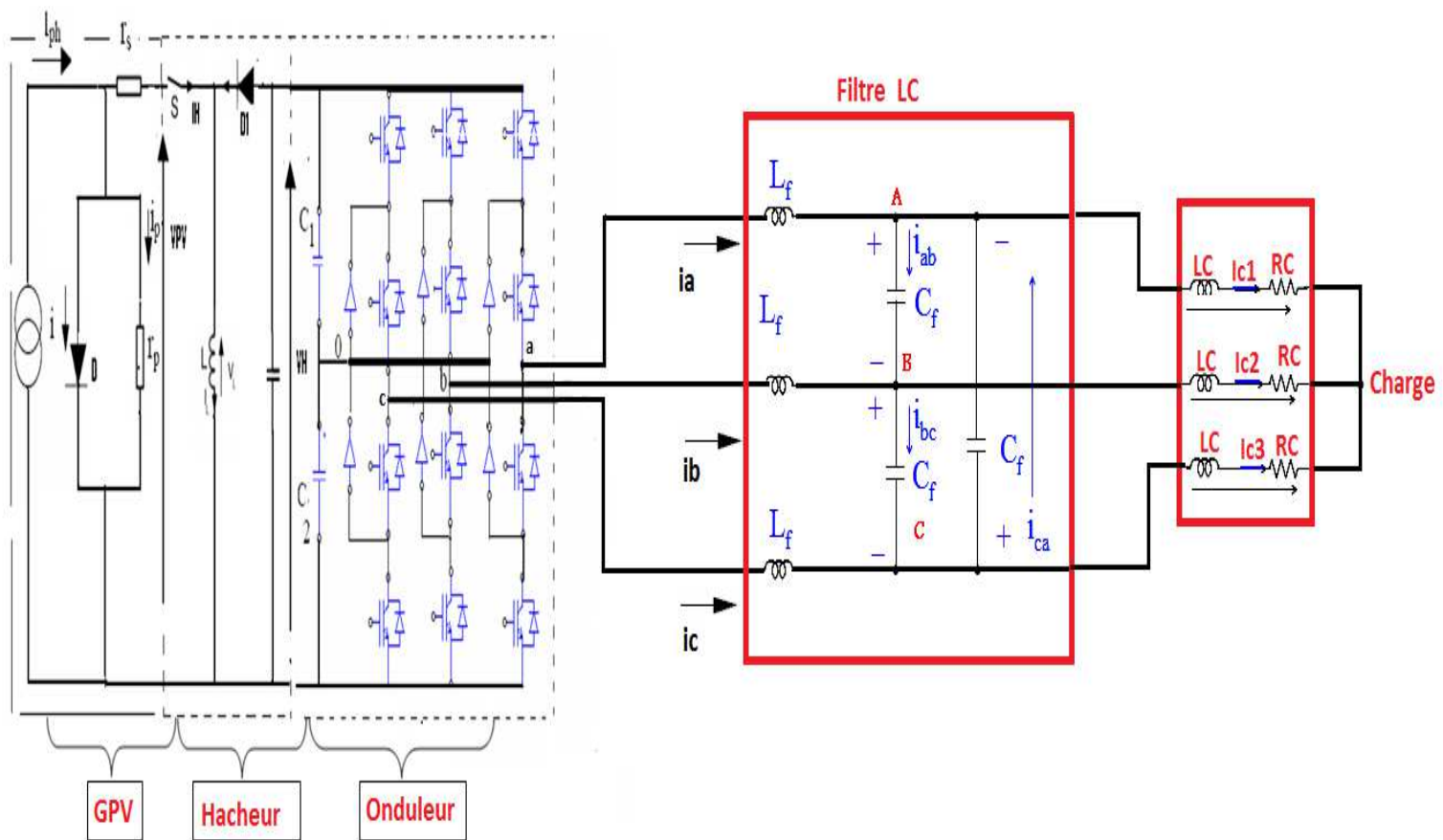


Figure IV-1: Schéma électrique de la chaîne de conversion photovoltaïque muni d'un filtre LC.

L'avantage le plus important du filtre vient de sa capacité de filtrage, son addition à la sortie de l'onduleur permet l'élimination de la plus part des harmoniques et donc de convertir la tension à la sortie en une tension sinusoïdale, répondant ainsi aux besoins et aux attentes des utilisateurs de cette forme d'énergie.

En appliquant la loi de Kirchhoff aux nœuds A, B, C, les équations des courants et des tensions du filtre LC selon la figure (IV-1) sont données comme suit :

NŒUD (A)

$$i_a + i_{ca} = i_{ab} + i_{c1} \Rightarrow i_a + cf \cdot \frac{dV_{CA}}{dt} = cf \cdot \frac{dV_{AB}}{dt} + i_{c1} \quad (IV-1)$$

NŒUD (B)

$$i_b + i_{ab} = i_{bc} + i_{c2} \Rightarrow i_b + cf \cdot \frac{dV_{AB}}{dt} = cf \cdot \frac{dV_{BC}}{dt} + i_{c2} \quad (IV-2)$$

NŒUD (C)

$$i_c + i_{bc} = i_{ca} + i_{c3} \Rightarrow i_c + cf \cdot \frac{dV_{BC}}{dt} = cf \cdot \frac{dV_{CA}}{dt} + i_{c3} \quad (IV-3)$$

AVEC

$$i_{ca} = cf \cdot \frac{dV_{CA}}{dt} \quad i_{ab} = cf \cdot \frac{dV_{AB}}{dt} \quad i_{bc} = cf \cdot \frac{dV_{BC}}{dt}$$

La soustraction de (IV-1) de (IV-2) on obtient :

$$\begin{aligned} i_a - i_b + Cf \left( \frac{dV_{CA}}{dt} - \frac{dV_{AB}}{dt} \right) &= Cf \left( \frac{dV_{AB}}{dt} - \frac{dV_{BC}}{dt} \right) + i_{c1} - i_{c2} \\ \Rightarrow Cf \left( \frac{dV_{CA}}{dt} + \frac{dV_{BC}}{dt} - 2 \frac{dV_{AB}}{dt} \right) &= -i_a + i_b + i_{c1} - i_{c2} \end{aligned} \quad (IV-4)$$

La soustraction de (IV-2) de (IV-3) on obtient :

$$\begin{aligned} i_b - i_c + Cf \left( \frac{dV_{AB}}{dt} - \frac{dV_{BC}}{dt} \right) &= Cf \left( \frac{dV_{BC}}{dt} - \frac{dV_{CA}}{dt} \right) + i_{c2} - i_{c3} \\ \Rightarrow Cf \left( \frac{dV_{AB}}{dt} + \frac{dV_{CA}}{dt} - 2 \frac{dV_{BC}}{dt} \right) &= -i_b + i_c + i_{c2} - i_{c3} \end{aligned} \quad (IV-5)$$



La soustraction de (IV-3) de (IV-1) on obtient :

$$ic - ia + Cf\left(\frac{dV_{BC}}{dt} - \frac{dV_{CA}}{dt}\right) = Cf\left(\frac{dV_{CA}}{dt} - \frac{dV_{AB}}{dt}\right) + ic_3 - ic_1$$

$$\Rightarrow Cf\left(\frac{dV_{AB}}{dt} + \frac{dV_{BC}}{dt} - 2\frac{dV_{CA}}{dt}\right) = -ic + ia + ic_3 - ic_1 \quad (IV-6)$$

Avec

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0$$

A partir des équations (IV-1) à (IV-6) on obtient :

$$\frac{dV_{AB}}{dt} = \frac{1}{3Cf}(ia - ib) - \frac{1}{3Cf}(ic_1 - ic_2) \quad (IV-7)$$

$$\frac{dV_{BC}}{dt} = \frac{1}{3Cf}(ib - ic) - \frac{1}{3Cf}(ic_2 - ic_3) \quad (IV-8)$$

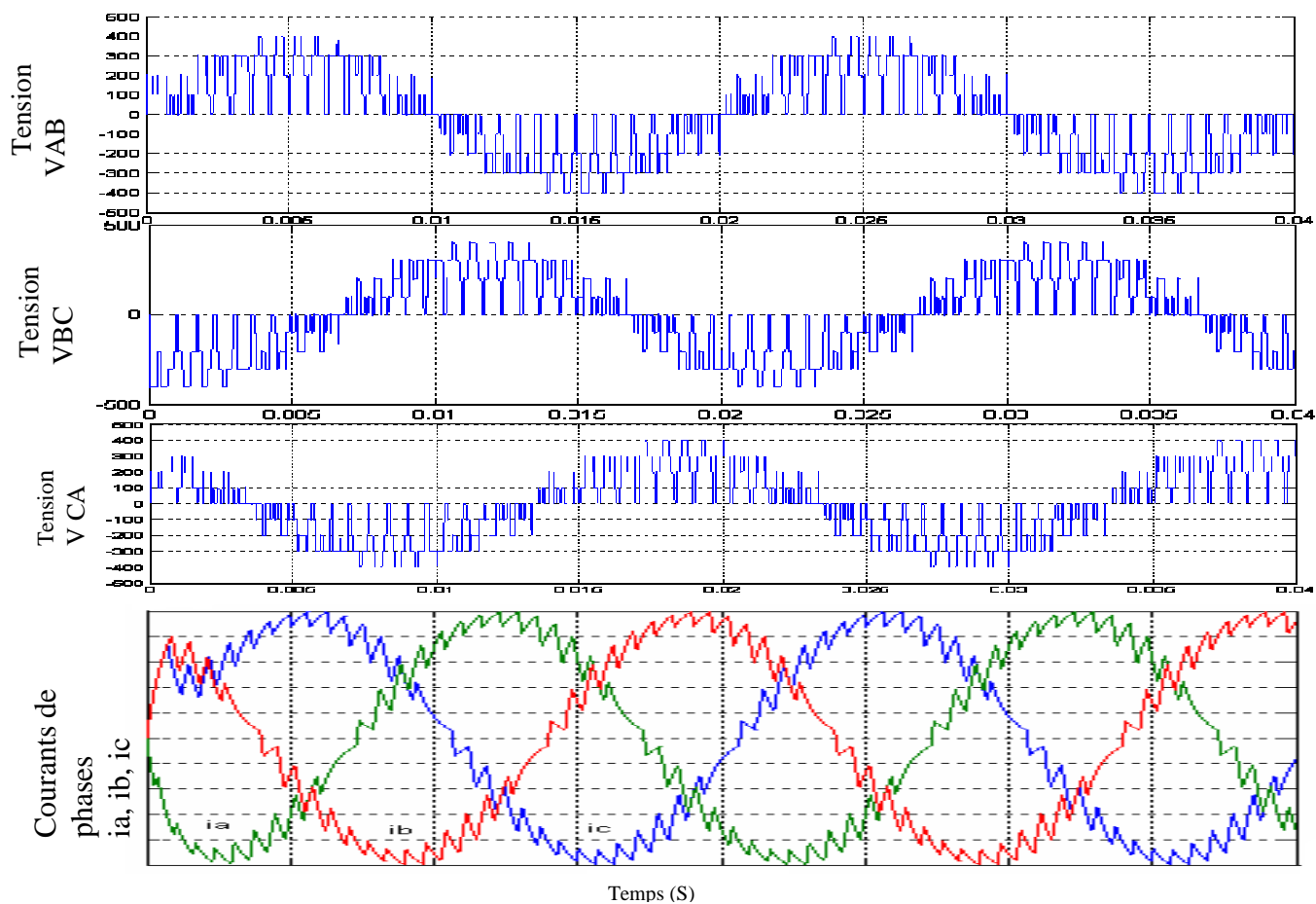
$$\frac{dV_{CA}}{dt} = \frac{1}{3Cf}(ic - ia) - \frac{1}{3Cf}(ic_3 - ic_1) \quad (IV-9)$$

En appliquant la loi des mailles du coté charge, les équations des tensions sont données comme suit :

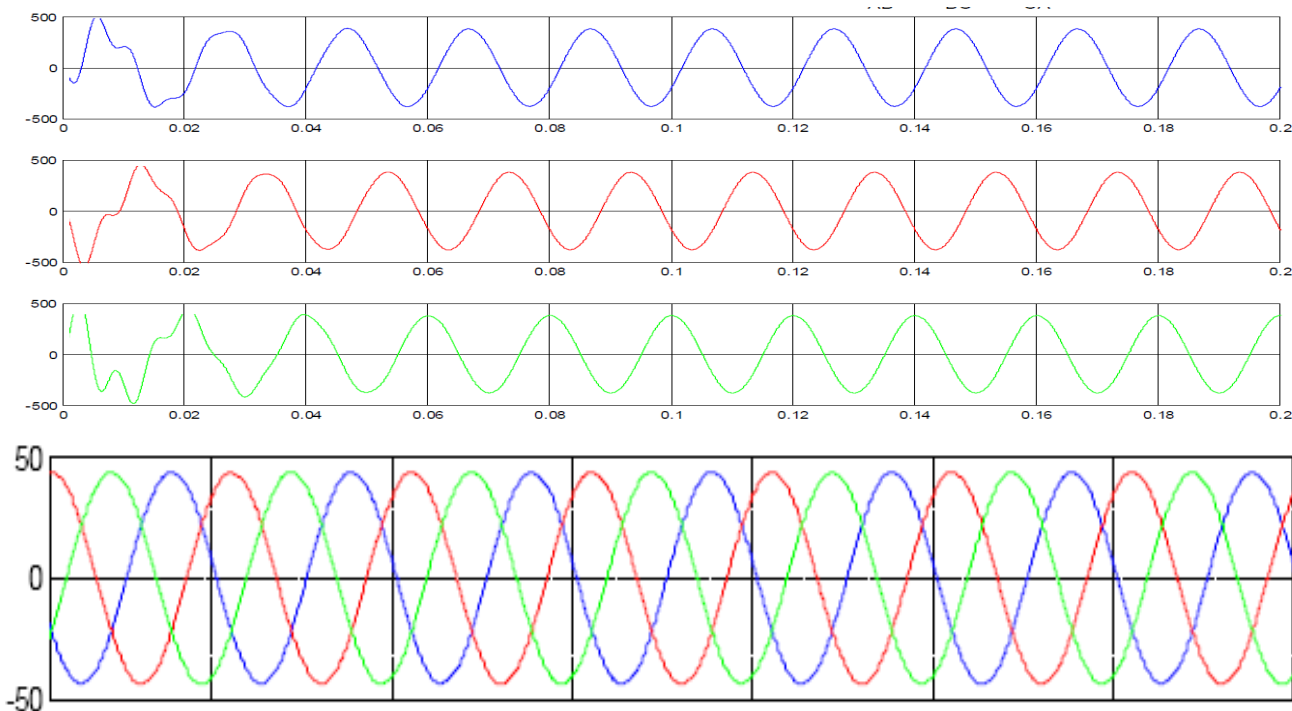
$$V_{AB} = LC \cdot \frac{d_{ic_1}}{dt} + RC \cdot ic_1 - LC \cdot \frac{d_{ic_2}}{dt} - RC \cdot ic_2 \quad (IV-10)$$

$$V_{BC} = LC \cdot \frac{d_{ic_2}}{dt} + RC \cdot ic_2 - LC \cdot \frac{d_{ic_3}}{dt} - RC \cdot ic_3 \quad (IV-11)$$

$$V_{CA} = LC \cdot \frac{d_{ic_3}}{dt} + RC \cdot ic_3 - LC \cdot \frac{d_{ic_1}}{dt} - RC \cdot ic_1 \quad (IV-12)$$



*Figure IV-2: Caractéristique de l'ensemble, tension composées, courants de ligne avant filtrage.*



*Figure IV-2: Caractéristique de l'ensemble, tension composées, courants de ligne après filtrage.*

### **IV-3 Amélioration de la tension d'un réseau BT à l'aide d'un système photovoltaïque**

#### **IV-3-1 Introduction**

L'application photovoltaïque ne se limite plus à son utilisation dans les sites isolés .La tendance actuelle, notamment dans les pays industrialisés est de raccorder au réseau électrique les installations individuelles et particulièrement les installations collectives et les projets inscrits au cours de ce siècle vont bouleverser sûrement nos habitudes de consommation énergétiques.

L'intégration des modules photovoltaïques dans les installations de production d'électricité, sous forme de grandes centrales ou de toits PV connectés au réseau, nécessitera de plus en plus des systèmes intelligents de contrôle et de gestion du réseau.

Le développement de cette forme d'énergie raccordé au réseau électrique va profondément modifier la structure et la fonction de ce dernier, jusqu'à présent les réseaux avaient pour rôle de transporter l'électricité produite de façon concentrée dans des centrales de grande puissance et de la distribuer pour être consommée par des millions de consommateurs, particulier ou entreprises. La multiplication de ces sources décentralisées appelle aujourd'hui de nouvelles fonctionnalités et introduit une plus grande complexité. Dans un futur proche, les réseaux auront pour rôle non seulement de distribuer l'énergie produite mais également de mutualiser l'ensemble des productions décentralisées tout en garantissant le même niveau de fiabilité et de qualité d'approvisionnement.

#### **IV-3-2 La normalisation**

Les normes ,d'après la définition de L'ISO ,sont des accords documentés contenant des spécifications technique ou autres critères précis destinés à être utilisés systématiquement en temps que règles, lignes directrices ou définitions de caractéristiques pour s'assurer que des matériaux, produits, processus et services sont aptes à l'emploi .

### **IV-3-3 Cadre réglementaire**

Le contrat de raccordement, d'accès et d'exploitation pour une installation raccordée au réseau public de distribution d'électricité en injection basse tension fait référence à plusieurs documents, assurant une mise en cohérence de fonctionnement entre le réseau de distribution et les matériels installés chez le client parmi lesquels :

Normes :

Norme allemande DIN VDE 0126-1.1 [5] et ses évolutions [45]

Norme européenne NF EN 50160 [53]

Norme NF C15-100

Norme NF C14-100

Guide:

UTE C15-712 [54]

UTE C15-400 [55]

Les spécificités techniques des installations photovoltaïques sont à l'origine de nombreux Phénomènes d.'interaction, impacts et effets sur le réseau public de distribution qui font l'objet de nombreuses publications au niveau international.

### **IV-3-4 Cadre juridique et réglementaire en Algérie**

L'Algérie à intégré leur développement dans sa politique énergétique par l'adoption d'un cadre juridique favorable à leur promotion et la réalisation d'infrastructures y afférentes, le développement des énergies renouvelables est encadré par un ensemble de textes législatifs :

La loi N°99-09 du 28 juillet 1999, relative à la maîtrise d'énergie.

La loi N°02-01 du 05 février 2002, relative à l'électricité et la distribution publique du gaz par canalisation.

La loi N°04-09 du 14 aout 2004, relative a la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

### **IV-3-5 Contraintes réglementaires**

Les objectifs concernant la promotion des énergies renouvelables dans son volet électricité photovoltaïque raccordé au réseau, se heurte toujours aux nombreuses contraintes commerciales et législatives. Ces contraintes sont résumées comme suit:

Absence d'une politique tarifaire de l'électricité photovoltaïque.

Absence d'un cadre approprié pour implication du secteur privé.

Les règlements actuels favorisent la production à grande échelle et ne tiennent pas compte de la production de petites dimensions.

Absence d'obligation d'achat de l'énergie produite par le distributeur actuel d'énergie (Sonelgaz).

Absence des modalités des contrats d'achat et de vente d'électricité.

Le tarif d'achat de l'électricité photovoltaïque par les distributeurs n'est pas fixé.

Dispositifs de sécurité non défini

Les spécificités des installations photovoltaïques ne sont pas prises en compte dans les textes réglementaires.

Il n'est pas ici question de faire le procès des systèmes photovoltaïques mais bien de comprendre les nouvelles problématiques posées par l'arrivée de ces générateurs sur les réseaux publics de distribution.

### **IV-4 Caractéristique du réseau basse tension étudié**

Le réseau basse tension (BT) de distribution est mis en service par trois départs de sections différentes. Il alimente plus de 348 abonnés la majorité sont des branchements 2 fils figure (IV-4). Les caractéristiques générales du réseau ainsi que le transformateur MT/BT sont données par le tableau (IV-1)

**Tableau IV-1 : Caractéristiques du réseau**

Départ	longueur (ml)	Section mm <sup>2</sup>	Chute de tension (%)	Nombre de Branchements	
				2Fils	4Fils
<b>N°01</b>	1289	70	13.76	135	22
<b>N°02</b>	802	48	14.81	112	16
<b>N°03</b>	453	17	2.79	55	8

### Transformateur

Les transformateurs apparaissent souvent comme des interfaces entre sous réseaux à niveau de tension différents, dans notre cas, il s'agit d'un transformateur triphasé utilisé pour passer de 30kV(HTA) à 400V (basse tension).

Tension primaire (kV)	30
Tension secondaire (V)	400
Puissance nominale Pn (kVa)	400
Tension de court-circuit (%)	4.5
Pertes à vide (W)	1050
Pertes en charge (W)	6210
Courant à vide (% nominal In)	3.2
Type de couplage	Dyn11

### Mesure par ASM8 du Poste

N°	Puissance (KVA)	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_3$ (A)
<b>9013</b>	<b>400</b>	<b>578.7</b>	<b>526.6</b>	<b>417.9</b>

$$I_{\text{MOY}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (\text{IV-8})$$

$$K_U = \frac{I_{\text{MOY}}}{I_{\text{NOM}}} = \frac{507.73}{606.06} = 0.9727 = 83.77\%$$

$$K_{\text{des}} = \frac{(I_{\text{MOY}} - I_{\text{ph}})}{I_{\text{MOY}}} \cdot 100 = 13.97\% \quad (\text{IV-9})$$

#### IV-5 Analyse des résultats

Le coefficient de déséquilibre de ce poste n'est pas dans les normes ( $K_{\text{des}} = 13.97\%$ )

Le coefficient d'utilisation de ce poste est  $K_U = 83.77\%$  donc le poste est à surveillé.

On remarque d'après le tableau 1 que les valeurs de la chute de tension des départs 1 et 2 dépassent les limites admissibles, les clients raccordés sur ces deux départs sont mal desservis et ne peuvent pas utiliser normalement leurs équipements ménagers, tels que les téléviseurs, les réfrigérateurs, les climatiseurs...etc. On va essayer de ramener les paramètres techniques du réseau (courant tension) aux normes décrites par [45], en produisant l'énergie électrique à l'endroit du déficit.

#### IV-6 Maitrise du plan de tension

Tous les appareillages électriques (de consommation ou de production) raccordés au réseau public de distribution (RPD) sont conçus pour fonctionner dans des gammes de tension et de fréquence définies. C'est pourquoi les gestionnaires de réseau sont dans l'obligation de respecter les caractéristiques de la tension fournie par les RPD, caractéristiques décrites dans la norme NF EN 50160 et renforcées par l'arrêté du 24 décembre 2007 sur la qualité des réseaux électriques [45,53].

Les limites et valeurs des caractéristiques de la tension qui peuvent être attendues sur le réseau public de distribution sont les suivantes :

-La variation de la tension d'alimentation ne doit pas dépasser  $\pm 10\%$ .

- Une variation rapide de la tension ne dépasse généralement pas 5 % de  $U_n$ , mais peut atteindre 10 % de  $U_n$  pendant de courts instants.
- La coupure brève de la tension d'alimentation dure moins de 1 s dans 70 % des cas.
- Les coupures longues de la tension d'alimentation sont accidentelles, et la fréquence des coupures supérieures à 3 minutes dépendent des régions et des structures de réseaux.

Dans les réseaux BT en dehors de la présence de production décentralisée, la source d'énergie est unique et en conséquence le transit d'énergie s'écoule dans un seul sens, de la source vers les consommateurs. Il en résulte un plan de tension qui atteint une valeur maximale près de la source et décroît lorsqu'on s'éloigne de celle-ci. La courbe (1) de la fig.3 illustre ce phénomène. Dans cette optique, le gestionnaire de réseau règle la tension à la source que ce soit la source MT ou BT, au plus près de la tension maximale permise afin de rester dans les tolérances en bout de réseau. La présence d'une production décentralisée dans le réseau a pour effet d'augmenter le niveau de la tension à l'endroit de son injection et ainsi de modifier le profil de répartition de cette tension. La courbe (2) de la fig.3 correspond à un exemple d'élévation de tension. Il s'en suit que cette élévation de tension peut provoquer un dépassement de la tension maximum admissible.

Le réglage individuel des transformateurs MT/BT n'est pas adaptable de façon automatique, il est fixé à l'installation du transformateur et n'est pas modifié en fonction d'une présence de production décentralisée. Si la variation du plan de tension entre la situation de présence et de non présence de la production décentralisée n'excède pas 3%, il ne devrait pas y avoir de problème de surtension.

Si la variation dépasse 3%, une régulation de tension automatique qui limite les écarts de tension pourra être exigée.

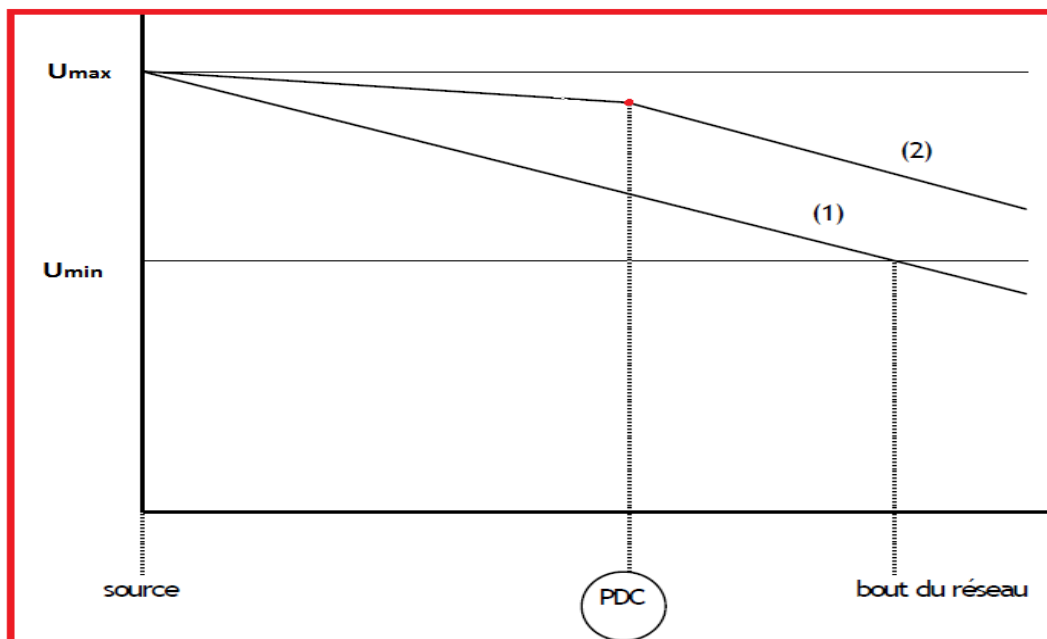


Ce phénomène de hausse localisée de la tension est le principal impact des installations Photovoltaïques sur les réseaux de distribution BT. Il peut être pris en compte et limité de différentes façons :

En limitant le nombre des utilisateurs ou la puissance totale d'injection d'un départ afin de conserver en tout point du réseau une tension inférieure à la tension maximale admissible comme cela est le cas avec la méthode GDO BT.

En modifiant la conception des réseaux BT pour prendre en compte la présence d'installations photovoltaïques. Cette prise en compte consiste notamment à régler la tension en tête des départs BT à un niveau plus faible qu'habituellement et à conserver une section de câble identique sur toute la longueur de la portion du réseau [50]. Cette méthode présente néanmoins l'inconvénient de laisser moins de marge aux chutes de tensions admissibles dans le départ concerné.

En autorisant le raccordement d'un nombre important d'installations photovoltaïques sous réserve que les onduleurs soient équipés d'une fonction de limitation de la puissance injectée lorsque l'élévation de la tension du réseau devient trop forte [51].



*Figure IV-3: Profil de la tension avec et sans la production décentralisée.*

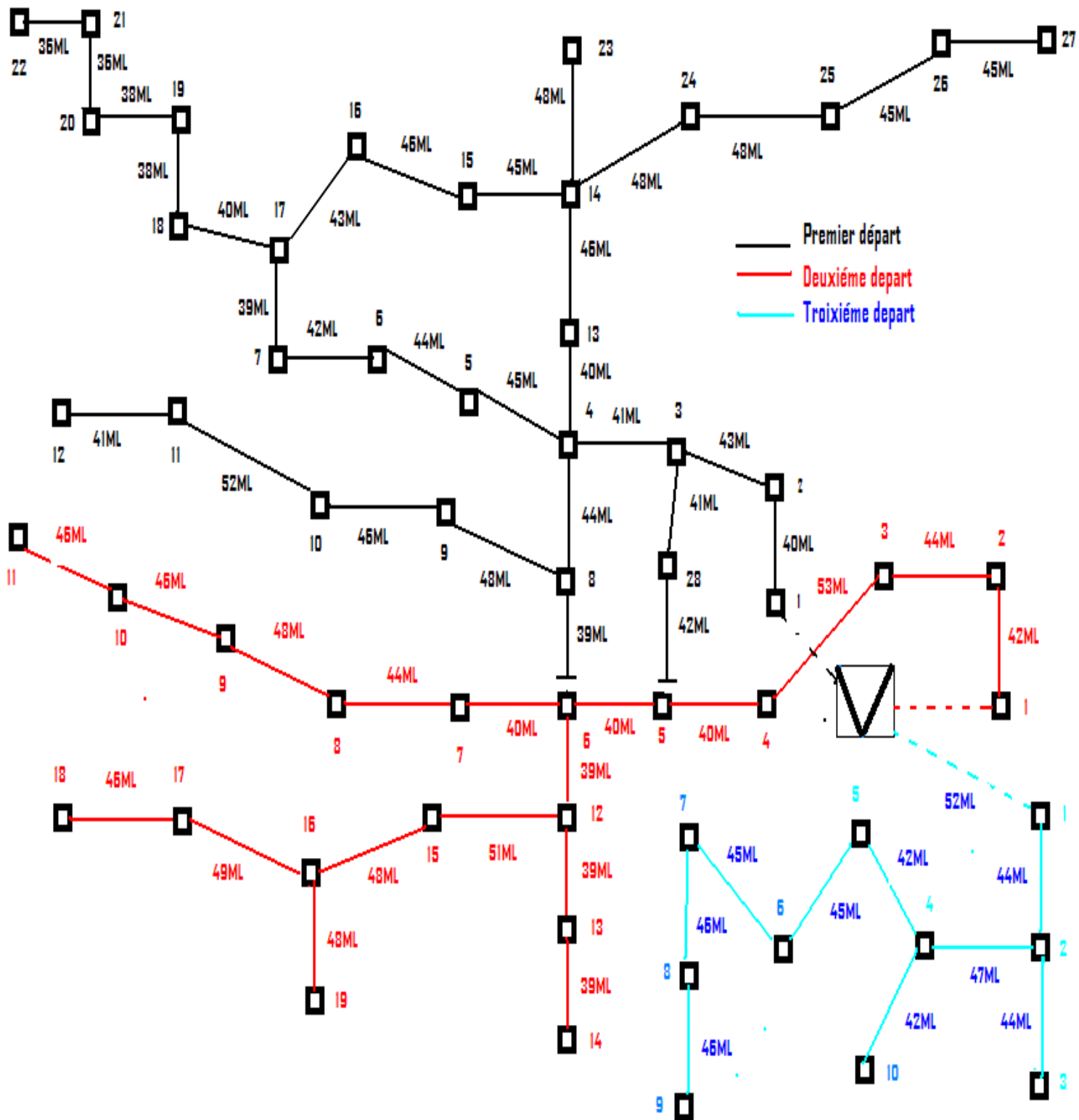
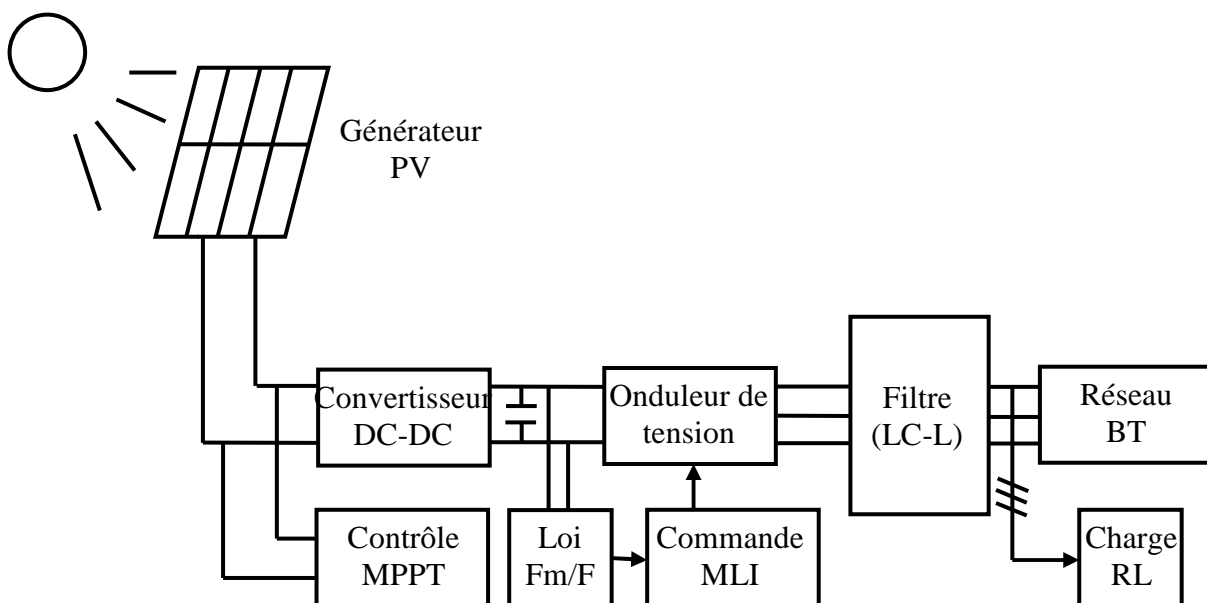


Figure IV-4: Schéma du réseau électrique basse tension.

#### IV-7 MODELISATION DU SYSTEME

La qualité d'énergie fournie aux utilisateurs dépend évidemment de celle de la tension au point de livraison .L'amélioration des paramètres techniques (tension –courant) est une préoccupation du distributeur d'électricité, parmi les moyens utilisés actuellement, nous citons le renforcement des sections des conducteurs, la création des nouveaux postes MT/BT ...etc...Mais la tendance actuelle vers une certaine décentralisation de la production électrique est susceptible de s'accroître suite à l'arrivée à maturité de nouveaux moyens de transformation de l'énergie primaire .Le raccordement des mini centrales photovoltaïque au réseau électrique basse tension peut résoudre ce problème, en produisant l'énergie électrique à l'endroit du déficit. pour cela en premier lieu, nous avons pris un cas réelle du fonctionnement d'un réseau BT qui présente des chutes de tension à ces extrémités, les clients raccordés à ce poste sont mal desservis .par la suite, nous avons étudié l'impact de la connexion de l'énergie photovoltaïque sur les paramètres de ce réseau.



*Figure IV-5 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque raccordée au réseau BT.*

### IV-7-1 Modèle d'une ligne basse tension

Le comportement d'une ligne permettant le transfert d'énergie peut être assimilé, sous certaines conditions [47], à celui d'un modèle en  $\pi$  Figure (6). Ce modèle comprend :

Une résistance traduisant la résistivité du matériau de la ligne, sa longueur et sa section.

Une inductance qui y est le rapport entre le champ magnétique total du flux de fuite et le courant qui traverse la ligne.

Une capacité traduisant l'effet du champ électrique créé.

Ces trois paramètres sont dépendants de la longueur de la ligne.

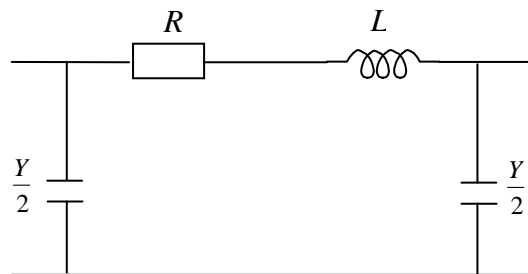


Figure IV-6 : Représentation de la ligne en  $\pi$ .

Dans le cas d'une ligne courte, la capacité peut être ignorée [7], son élimination n'a que très peu d'effet sur la tension ou sur le courant.

La figure 7 présente ce modèle où R et L sont la résistance et l'inductance par phase et par unité de longueur.

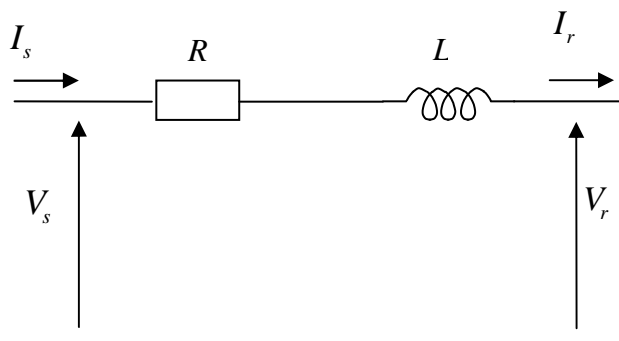


Figure IV-7: Modèle d'une ligne courte.

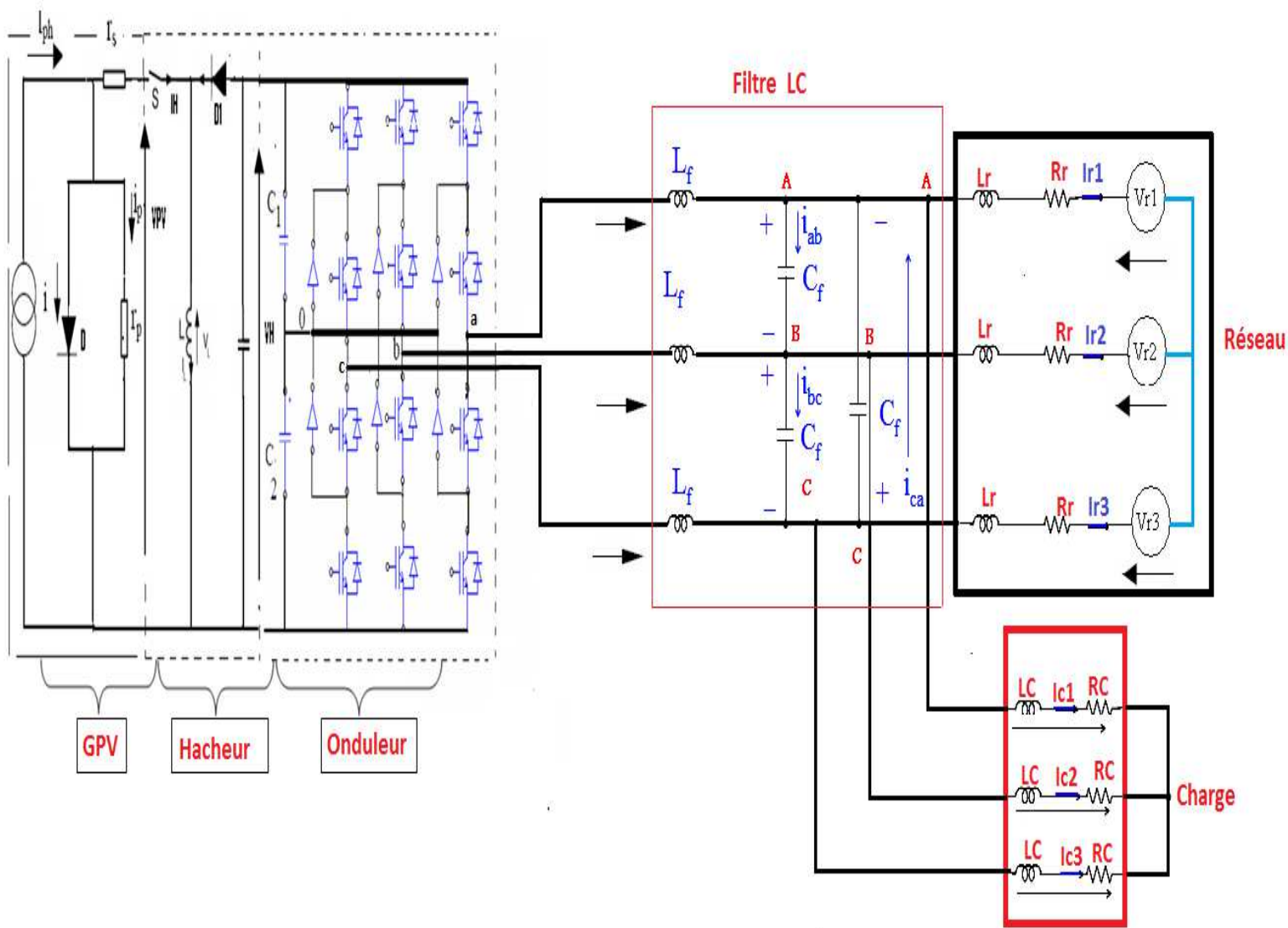


Figure IV-8: Schéma électrique de la chaîne de conversion photovoltaïque raccordé au réseau BT.

Le système proposé est constitué par un générateur photovoltaïque, un hacheur (dévolteur survolteur), un onduleur triphasé type NPC à trois niveaux à commande MLI raccordé au réseau basse tension qui présente des chutes de tension sur deux départ tableau (1).pour notre part ,on s'intéressera uniquement sur l'amélioration des paramètres techniques du réseau basse tension par l'insertion d'un système de production photovoltaïque.

La figure (8) schématise le synoptique d'un tel système.

### IV-8 Détermination de la chute de tension

La chute de tension à l'extrémité d'une ligne triphasée équilibrée de longueur  $L$ , s'exprime par la relation :

$$\Delta U = \sqrt{3} \int_0^L Z \cdot i(l) \cdot dl \quad (IV-10)$$

Avec  $Z = r \cos \Phi + x \sin \Phi$

Où  $i(l)$  est le courant qui varie le long de la ligne.

En particulier on peut exprimer la valeur de la chute de tension à l'extrémité d'une ligne en fonction de la valeur du courant  $I_0$  en tête de départ, dans les cas plus intéressants de distribution de la charge, par la relation suivante :

$$\Delta U = K_U \cdot Z \cdot L \cdot I_0 \quad (IV-11)$$

Avec

$K_U = 1$  pour la charge concentrée à l'extrémité de la ligne

$1/2$  pour la charge uniformément distribuée

$2/3$  pour distribution triangulaire

$Z = r \cos \Phi + x \sin \Phi$  = impédance unitaire  $\Omega/K m$

$L$  = longueur de la ligne,  $I_0$  = courant en tête de départ

La chute de tension relative s'exprime en % de la tension nominale, on obtient donc :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{100 \sqrt{3} K_U \cdot Z \cdot L \cdot I_0}{U} = \frac{100 \sqrt{3} K_U \cdot L \cdot I_0}{U^2} \cdot U(r \cos \Phi + x \sin \Phi)$$

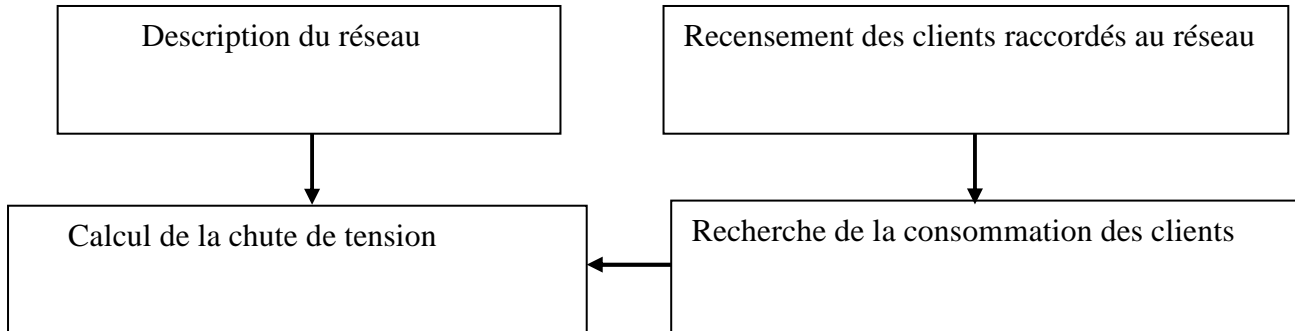
L'expression finale est alors :

$$\frac{\Delta U}{U} \% = K_U \cdot \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U^2} \cdot L \quad (IV-12)$$

$$P = \sqrt{3} U \cdot I \cos \Phi \quad : \text{Puissance active}$$

$$Q = \sqrt{3} U \cdot I \sin \Phi \quad : \text{Puissance réactive}$$

#### IV-8-1 Détermination de la chute de tension dans une ligne en présence de GPV



L'apport de la tension fourni par le système photovoltaïque est la différence entre la chute de tension  $\Delta V$  dans la ligne avec un GPV et sans GPV, la relation de la chute de tension entre le réseau amont et le point de raccordement d'une installation PV est déterminée comme suit [48]. Chaque bout de ligne électrique est tronçonné en segments ou dipôles sur lesquels se répartissent les clients. Parce que dans notre étude nous avons considéré que le comportement d'une ligne permettant le transfert d'énergie peut être assimilé, sous certaines conditions [46,48], à celui du model de la Figure (IV-9).

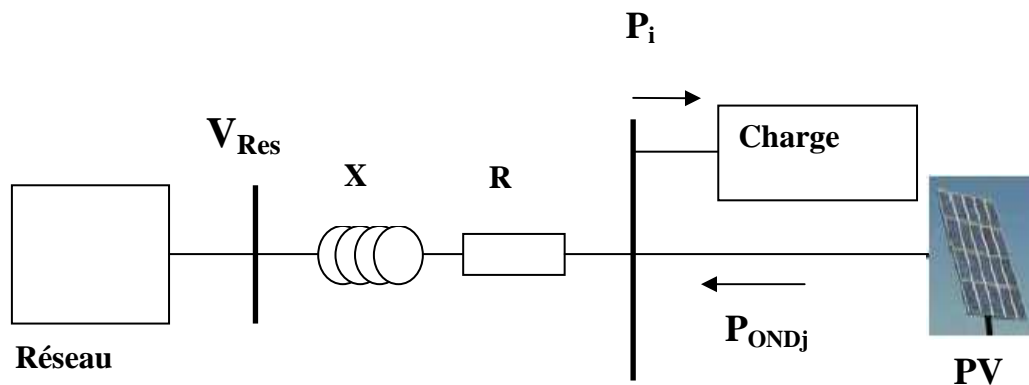


Figure IV-9: Détermination de la chute de tension dans une ligne en présence de GPV.

La chute de tension relative (%) du dipôle (n) est égale [46] [52].

R : résistance linéique d'un conducteur ( $\Omega / \text{Km}$ )

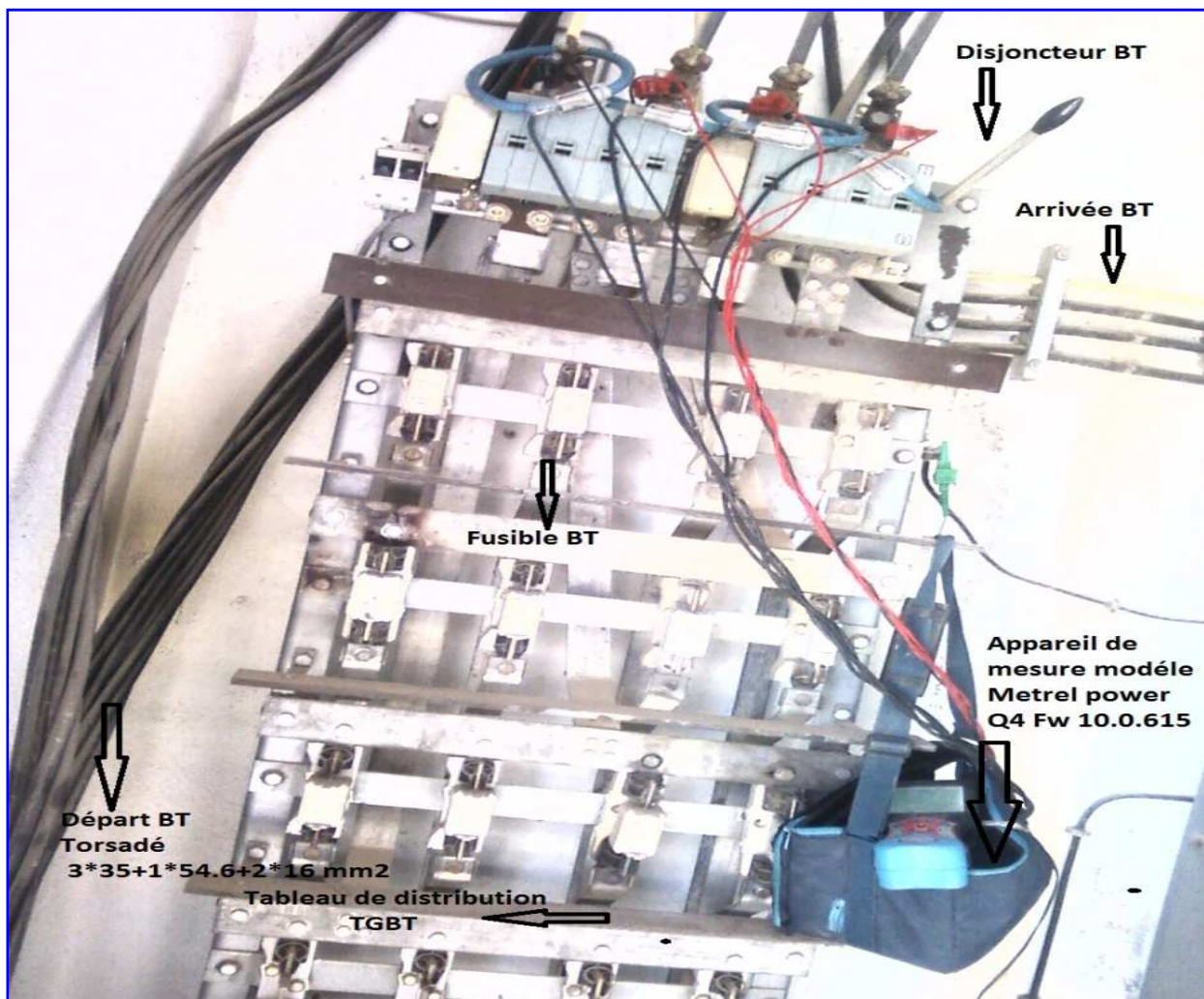
X : réactance linéique d'un conducteur ( $\Omega / \text{Km}$ )

$P_i = \sum_{j=1}^n (P_j - P_{ONDj})$  est la puissance cumulée appelée par la charge en (kW).

$L_i$  : Longueur du dipôle.

$P_{ONDj}$  est la puissance de sortie de l'onduleur (kW) sur le dipôle j.

### IV-9 Simulation



**Figure IV-9:** relevés expérimentaux des paramètres de la ligne BT.



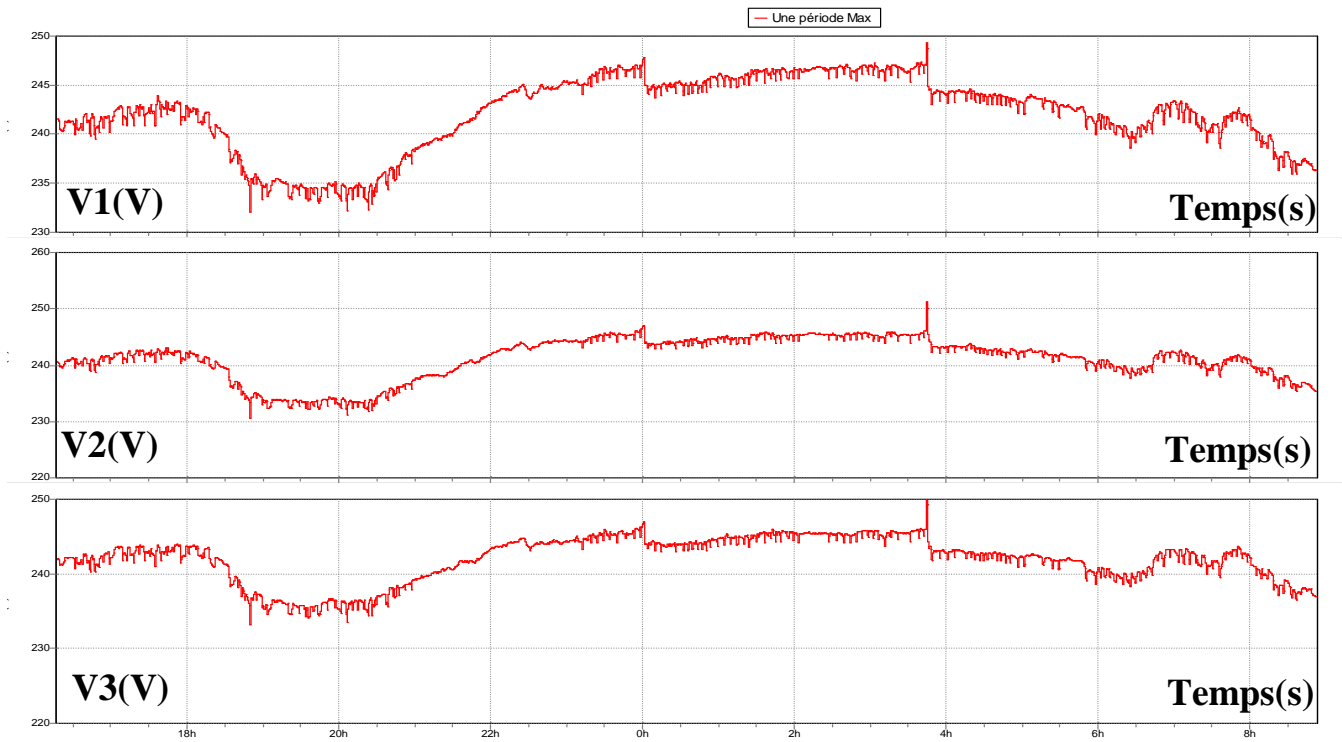


Figure IV-10: Allure de la tension des trois départs.

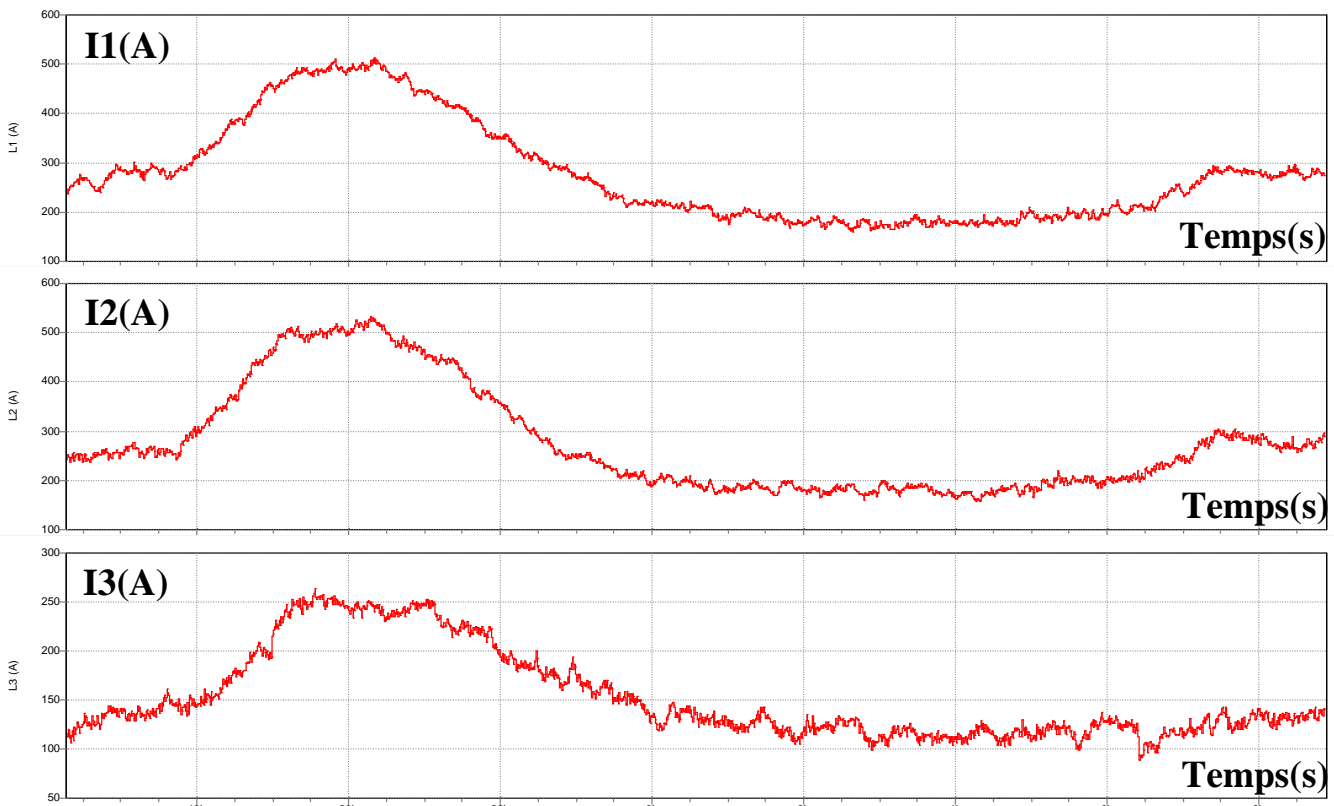
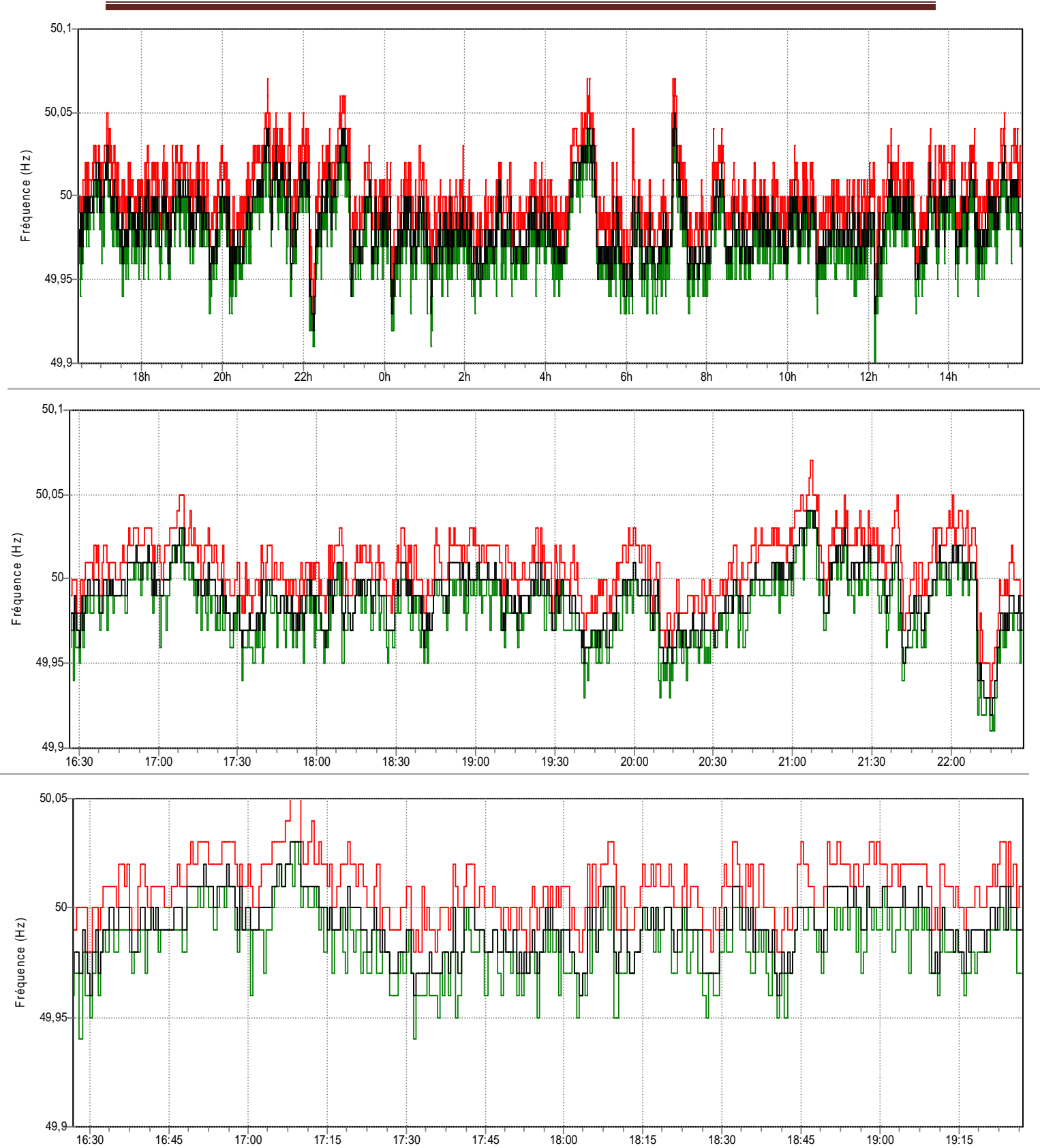


Figure IV-11: Allure du courant des trois départs.



*Figure IV-12: Evolution de la fréquence du réseau étudié.*

Tableau IV-2 : Chute de tension avant et après compensation

Nœuds	Chute de tension		Nœuds	Chute de tension	
	Initiale	Après compensation		Initiale	Après compensation
1	1,02	1	15	12,76	8,9
2	3,21	2,8	16	12,85	8,9
3	4,81	4,5	17	12,85	8,7
4	7,38	4,36	18	13,02	9,45
5	9,1	6,7	19	13,12	9,33
6	9,43	7,3	20	13,44	9,2
7	10,83	9	21	13,59	9,01
8	8,6	7,96	22	13,76	9
9	10,47	8	23	11,89	9
10	11,6	10	24	12,43	8,89
11	12,66	10,41	25	13,01	8,7
12	13,4	10,6	26	13,66	8,66
13	10,65	8,5	27	13,7	8,18
14	11,76	9	28	6,78	4,45

Tableau IV-3 : Tension avant et après compensation

Nœuds	Tension				Nœuds	Tension			
	Initiale	Après compensation				Initiale	Après compensation		
		N22	N27	N22 N27			N22	N27	N22 N27
1	376,2	376,2	376,89	378	15	332,06	336,50	333,10	346,18
2	367,8	367,8	367,8	374	16	331,51	338,8	332,41	346,18
3	361,72	362,55	361,72	370	17	331,17	339,61	331,50	344,94
4	351,95	353,43	351,95	363	18	330,52	340	330,90	344,09
5	345,42	350,57	347,42	358	19	328,92	340,50	328,92	344,54
6	344,16	352,22	346,22	356	20	328,35	341,80	328,35	345,04
7	338,84	344,59	339,59	350	21	327,71	343,90	327,50	345,76
8	347,2	350,55	349,55	349,75	22	327,71	345,11	327,71	345,8
9	340,21	345,45	342,8	349,6	23	338,96	338,16	345,80	346,18
10	335,92	336,32	336,16	346	24	336,56	336,56	346,04	346,2
11	331,89	332,33	332,33	343	25	333,56	333,52	346,35	346,94
12	329,08	339,53	330,63	343	26	332,12	332,11	347,20	347,09
13	335,73	343,78	337,9	347,7	27	330,22	330,22	347,60	348,9
14	335,1	342,22	338,16	345,8					

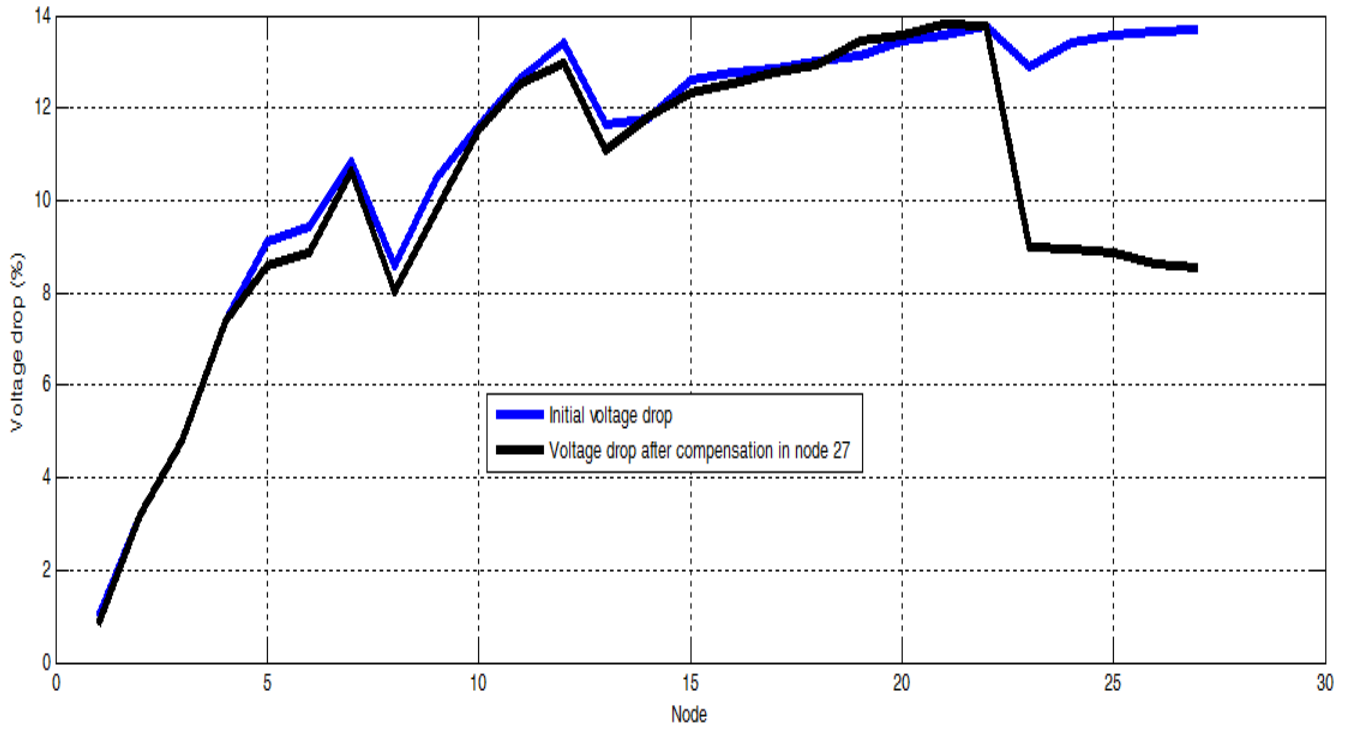


Figure IV-13: Profil de la chute de tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 27

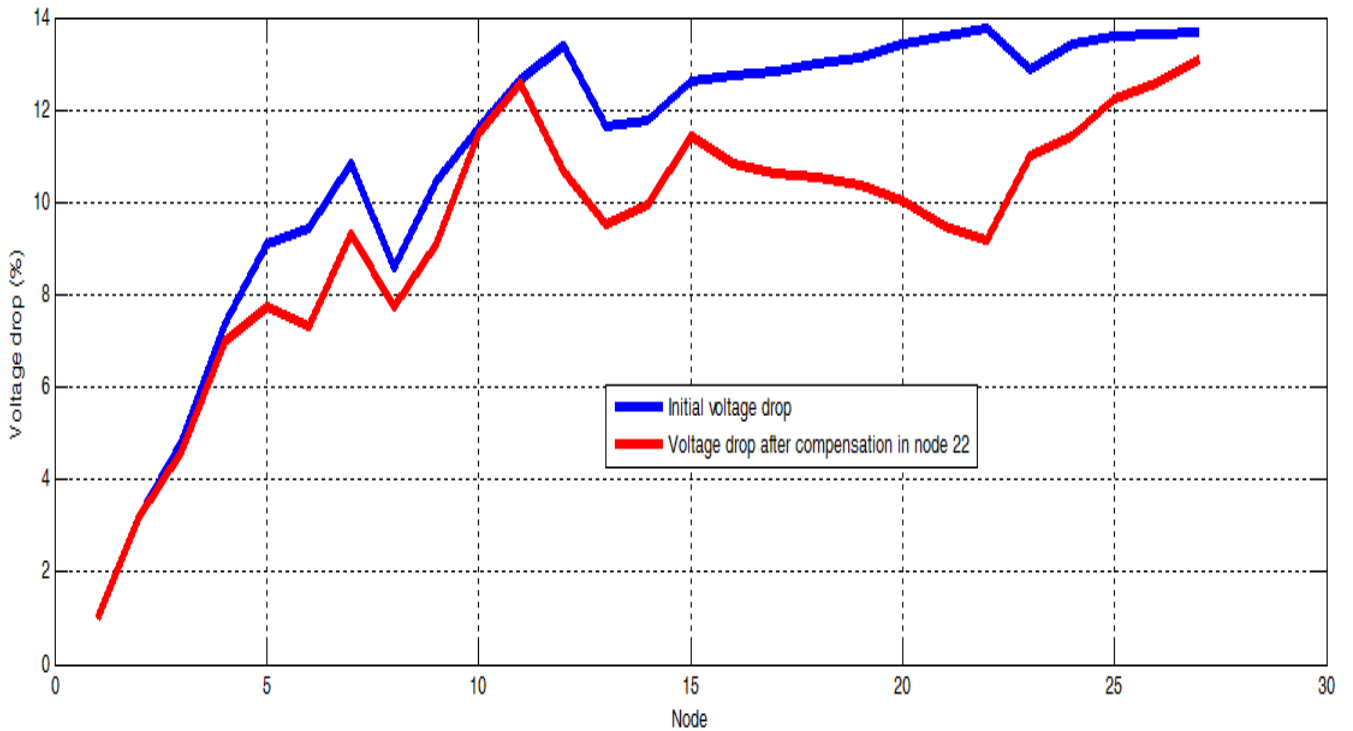


Figure IV-14: Profil de la chute de tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 22

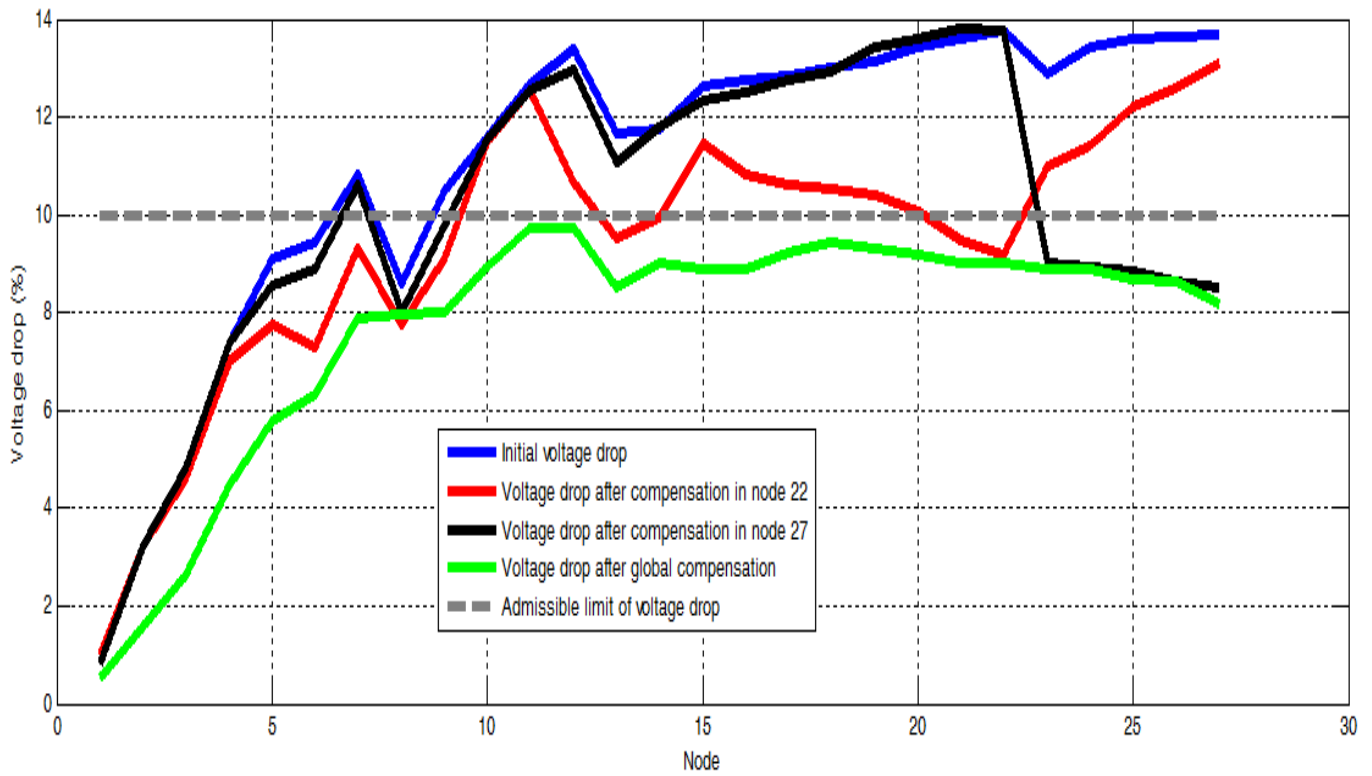


Figure IV-15: Profil de la chute de tension du départ n°1 initiale et après compensation globale.

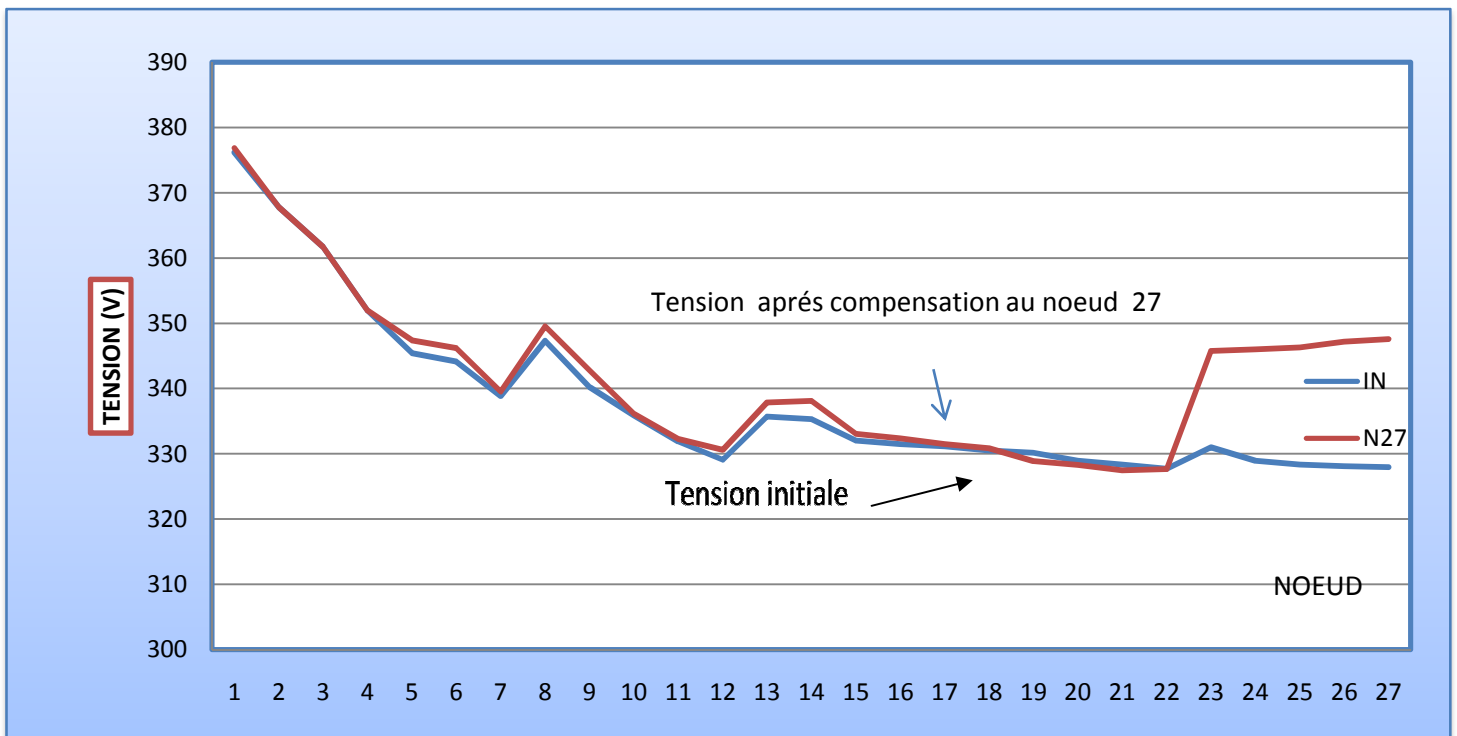


Figure IV-16: Profil de la tension du départ n°1 initiale et après compensation au nœud 27

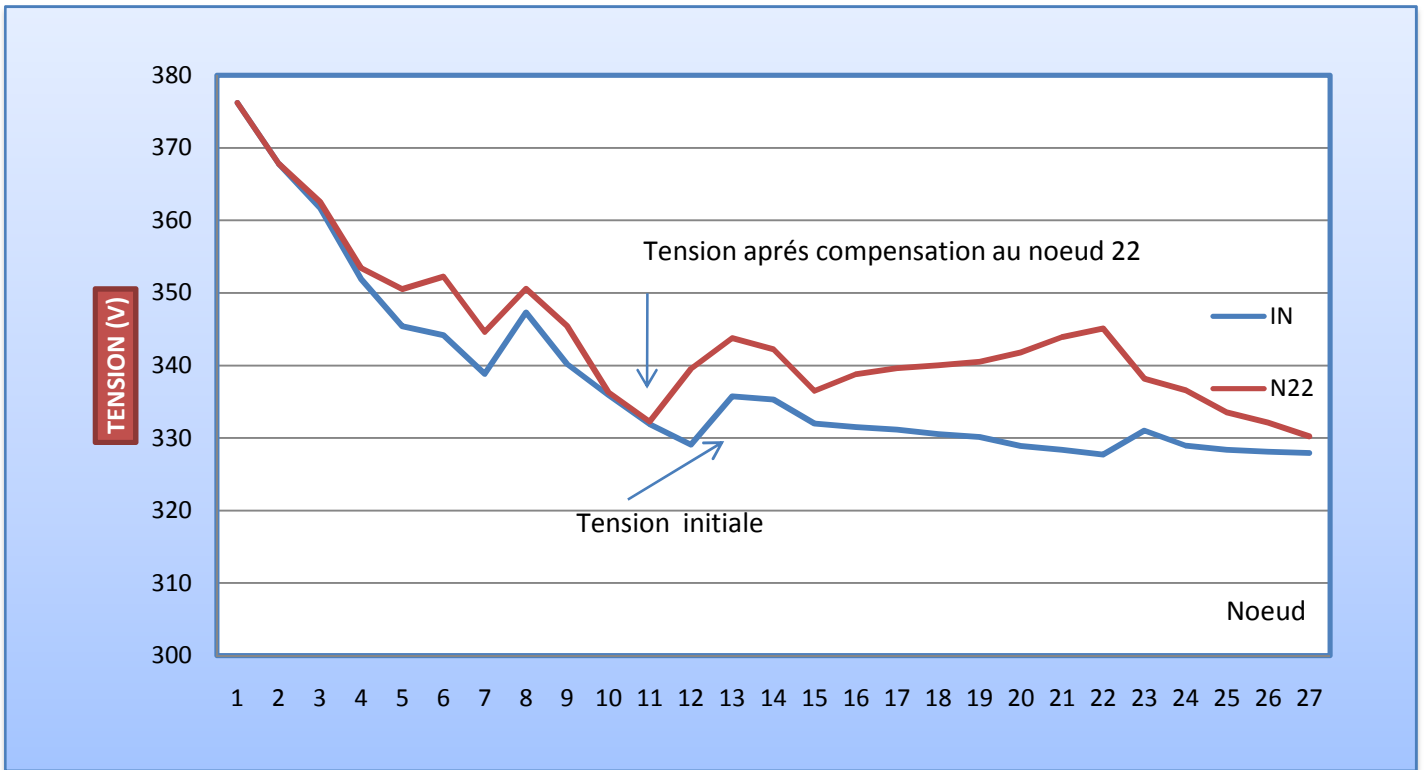


Figure IV-17: Profil de la tension du départ n°1 initiale et après compensation au noeud 22

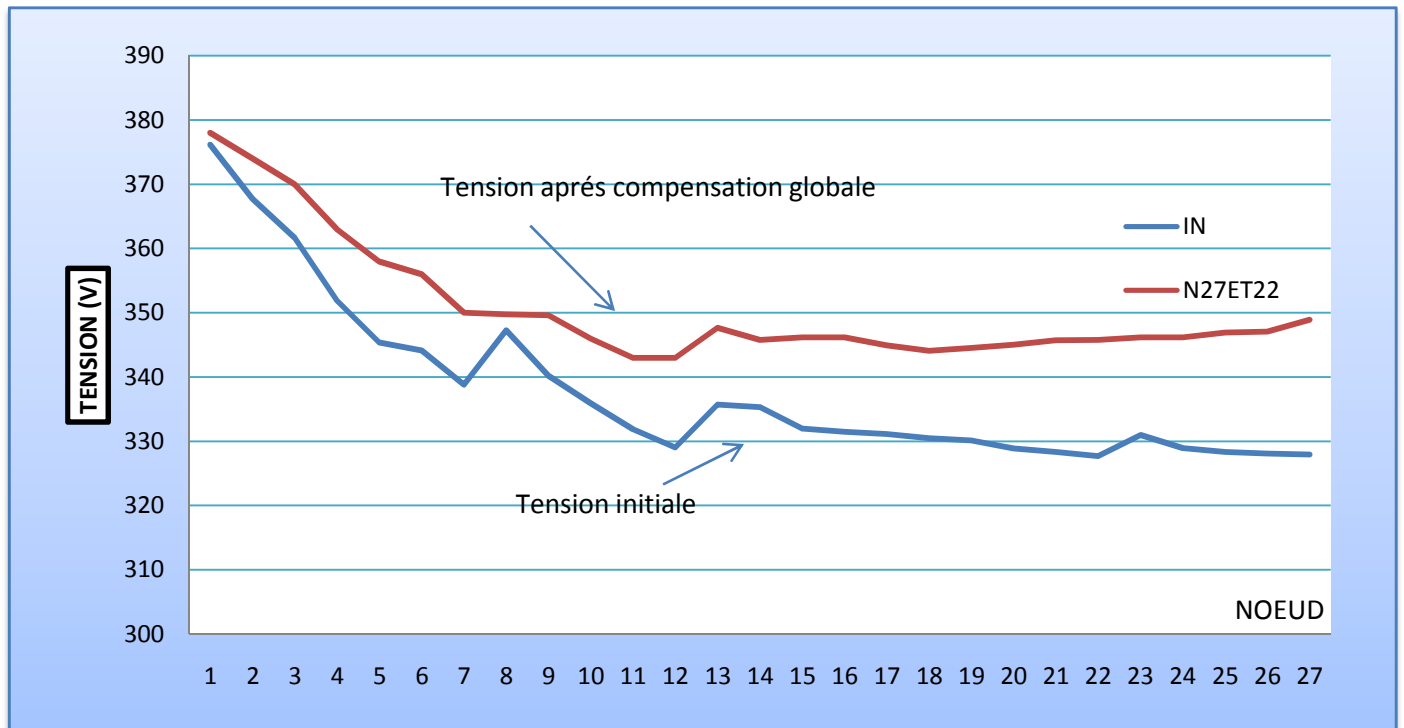


Figure IV-18: Profil de la tension du départ n°1 initiale et après compensation globale

Tableau IV-4 : chute de tension du départ N°2

Nœuds	Chute de tension	
	Initiale	Après compensation
1	0,8	0,5
2	4,35	2,36
3	7,27	3,85
4	10,51	5,51
5	10,6	6,68
6	10,64	7,71
7	11,3	8,4
8	11,75	8,71
9	11,84	8,99
10	11,94	9,01
11	11,99	9,02
12	11,14	8,03
13	12,48	8,93
14	13,18	9,11
15	11,88	8,28
16	12,79	8,39
17	13,12	8,40
18	14,81	8,41
19	14,83	8,43

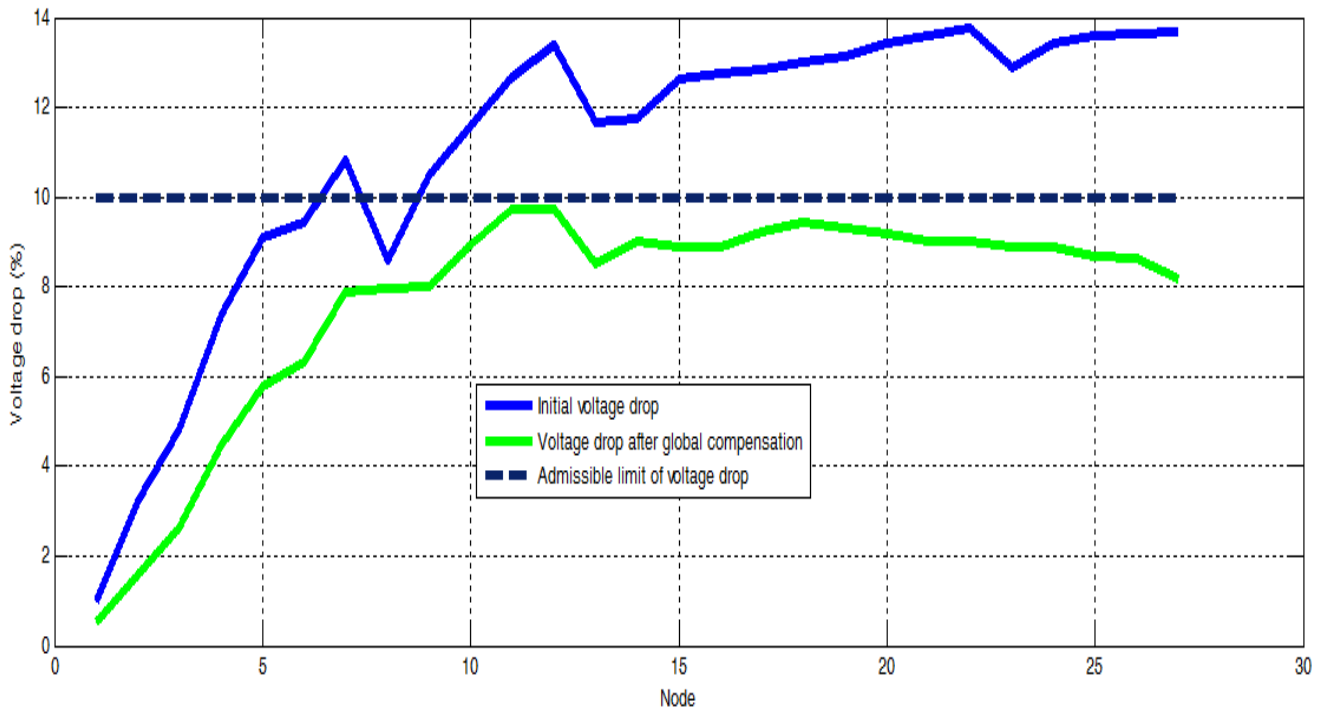


Figure IV-19: Profil de la chute de tension du départ n°2 initiale et après compensation au nœud 18.

Tableau IV-5 : Tension du départ N°2

Nœuds	tension	
	Initiale	Après compensation
1	376,96	378,1
2	363,47	371,03
3	352,37	365,37
4	340,06	359,06
5	339,72	354,61
6	339,56	350,7
7	337,06	348,08
8	335,35	346,9
9	335,008	345,83
10	334,62	345,76
11	334,43	345,72
12	337,66	349,48
13	332,57	346,06
14	329,91	345,38
15	334,85	348,53
16	331,29	348,11
17	330,14	348,08
18	323,72	348,04
19	323,64	347,96

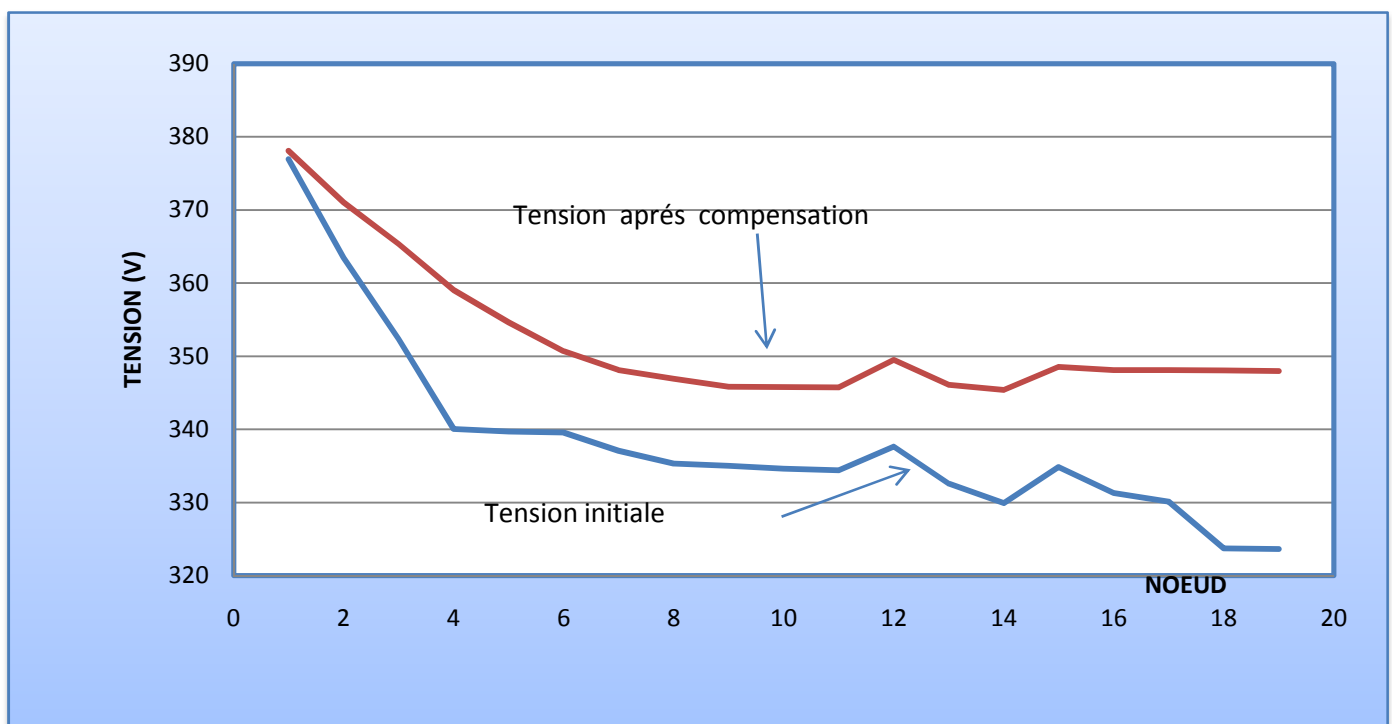


Figure IV-20: Profil de la tension du départ n°2 initiale et après compensation globale



### **IV-10 Commentaire**

Dans les figures 16 ; 17 ; 18 ; 19 ; 20 est illustré le gain d'énergie apporter par l'insertion du GPV dans les départs 1et 2 du réseau BT utilisé, on remarque bien que les chutes de tension qui dépassaient les limites admissibles 13.76% pour le départ n°1 et 14.81% pour le départ n°2 ce sont diminué considérablement le long des lignes, aussi on constate que dans toutes les dérivations des lignes, la tension est augmentée aux limites admissibles.

Pour le départ N°01 deux injections ont été faite en même temps la première au nœud 22 et la deuxième au nœud 27 afin de ramener les chutes de tensions inférieure à 10%. L'orque les injections faite séparément le problème de réduction des chutes de tension n'est pas résolu

#### **Injection au nœud 22**

La chute de tension maximale initiale qui est de 13.76% enregistré au nœud 22est diminué considérablement pour atteindre la valeur de 9.18% dans ce même nœud, par contre des valeurs dépassaient les limites admissibles sont enregistrés dans d'autre nœuds, la valeur maximale de la chute de tension 13.70% observé au nœud 27.

#### **Injection au nœud 27**

Presque la mémé remarque constaté l'orque l'injection faite au nœud 27 uniquement, la chute de tension maximale de 13.76% c'est resté stationnaire sans changement, par contre la chute de tension au nœud 27 qui était 13.70% est devenu 8.53%.

#### **Injection aux nœuds 22et 27**

Le constat ici est différent, la chute de tension dans tous les nœuds est réduite, la valeur maximale enregistré 9.45% au nœud 18.

Pour le départ N°02, la chute de tension maximale enregistré est de 14.81% après injection faite au nœud 18, les chutes de tension ce sont diminué tout le long du départ ,la valeur maximale observé est de 9.111% nœud 14.

## IV-11 CONCLUSION

La connexion des systèmes photovoltaïques au réseau électrique, surtout dans les lieux mal desservis, comme c'est le cas de notre réseau étudié est une solution bien adoptée pour résoudre le problème de la chute de tension, est de contribué ainsi à l'amélioration de la qualité de l'énergie fourni aux utilisateurs, puisque ces systèmes produisent de l'énergie à l'endroit du déficit.

Les solutions innovantes d'insertion des systèmes photovoltaïques sans stockage d'énergie au sein des réseaux de distribution pour améliorer la qualité de l'énergie fourni aux utilisateurs et de réduire considérablement la chute de tension le long d'une ligne basse tension, peuvent intéresser aussi les distributeurs d'électricité à s'engagé pleinement dans cette démarche.

L'utilisation d'un système photovoltaïque pour la production de l'électricité sera de grande utilité, puisque les contraintes apparaissent dans la période où l'ensoleillement est au maximum et la production électrique du générateur photovoltaïque est au maximum également. Il est temps de concevoir des réseaux BT, en tenant compte de la présence futur de systèmes PV, durant le traitement des demandes de raccordement l'or de construction de quartiers, des zones d'activité commerciale, parce que le moindre incident qui intervient sur les réseaux électriques est jugé intolérable, alors qu'il était considéré, comme inhérent au fonctionnement des réseaux. En effet, aujourd'hui, une coupure électrique perturbe totalement la vie de la société, il ya à cet égard une attente beaucoup plus forte des consommateurs, en matière de qualité d'énergie, c'est pourquoi, le rôle du planificateur, c'est de savoir évaluer l'incidence des paramètres principaux sur le rendement et sur les coûts d'investissement pour pouvoir offrir au client une installation taillée sur mesure. La diminution nécessaire des coûts est possible par le transfert des progrès technologiques des laboratoires [53] vers une production industrielle de produits fiables.



CHAPITRE V  
Analyse Economique

---

## V-1 INTRODUCTION

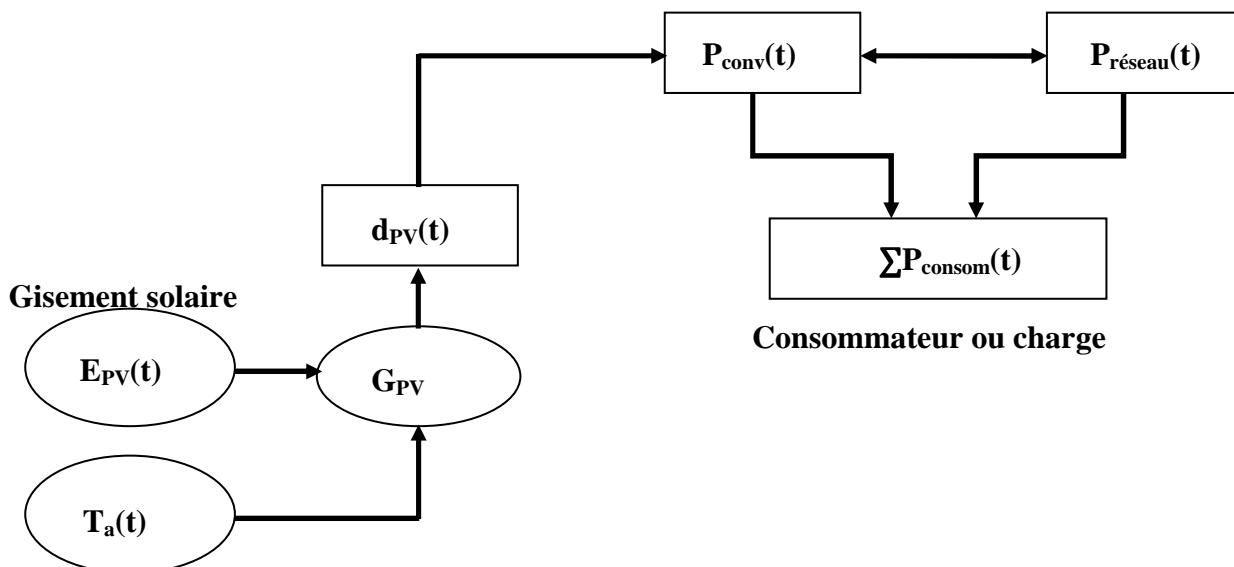
L'installation photovoltaïque représente un investissement très important, surtout pour un particulier, donc avant de se lancer dans la réalisation, il est nécessaire de réaliser des études préliminaires permettant de vérifier avec précision l'intérêt économique du projet.

Par manque d'une politique claire en Algérie, en matière de subvention et d'aide à l'investissement de la filière photovoltaïque, le problème est très difficile comparativement à d'autres pays qui se sont engagés officiellement à développer la filière photovoltaïque offrant des incitations financières (accord de crédits, subvention, achat de l'électricité photovoltaïque à des particuliers à un prix attractif). Il est constaté des difficultés à faire émerger les technologies photovoltaïques par les seules forces du marché, c'est pourquoi, il est pertinent d'insister sur le rôle que peut jouer l'état en contribuant, par des fonds publics, au développement de ce type d'énergie et à créer des technologies nationales supportées par une industrie locale.

Par la présente étude économique, nous voulons établir des outils pouvant aider les utilisateurs de cette forme d'énergie que nous la considérons comme un produit nouveau dans le système énergétique de notre pays, et cela par la présentation des relations économiques pouvant exister dans un système de conversion photovoltaïque.

### V-2 La gestion d'énergie du système étudié

La figure (V-1) représente les échanges d'énergies possibles dans notre système, nous avons le réseau de distribution basse tension qui peut satisfaire la demande du consommateur durant les périodes où les conditions atmosphériques sont très défavorables, aussi le système de production photovoltaïque qui assure l'alimentation de ce consommateur ainsi les convertisseurs (hacheur, onduleur) qui gèrent les flux d'énergies entre le réseau et la production photovoltaïque.



### Température ambiante

*Figure V-1: Schéma des échanges d'énergies du système étudié.*

Les paramètres caractérisant chacune des éléments constituant la chaîne de conversion sont décrits comme suit :

#### 1) consommateur ou charge :

Le consommateur quelque soit sa nature à besoin d'une certaine quantité d'énergie à chaque instant qui sera notée  $P_{cons}(t)$  ; à  $t=0, P_{cons}(t)=0$ .

#### 2) système de production photovoltaïque

Ce système produit à l'instant  $t$  une puissance qui sera notée  $P_{pv}(t)$  qui dépend comme on 'à vu dans les chapitres précédents de l'ensoleillement  $E_{pv}(t)$  et de la température ambiante  $T_a(t)$ .

#### 3) convertisseur

La puissance qui transite à l'instant  $t$ , par le convertisseur sera notée  $P_{conv}(t)$

#### 4) le réseau BT

La connexion au réseau est caractérisée par la puissance  $P_{reseau}(t)$ , c'est la puissance disponible fournie et qui peut prendre les conventions suivantes

$P_{reseau}(t) < 0$  lorsque l'en renvoi de l'énergie vers le réseau.

$P_{reseau}(t) > 0$  lorsque le réseau fournie de l'énergie au système

### V-3 Détermination des relations économiques

On sait que les données du système sont déterminées dans le chapitre II et III qui sont le gisement solaire, la température ambiante, et le profil de consommation, on va essayer de déterminer le coût total de l'énergie consommée par l'utilisateur photovoltaïque qui dépend de plusieurs facteurs dont leurs connaissances est utile dans notre étude.

- ❖ La durée de vie
- ❖ Le coût d'investissement (cout initial)
- ❖ Les coûts de maintenances annuels relatifs au système photovoltaïque
- ❖ Les coûts de remplacement des différents sous système
- ❖ Le coût actualisé

D'après l'étude bibliographique, la durée de vie des modules et des supports varient selon les fournisseurs de 20 à 30 ans, nous l'estimerons à 25 ans [37].

Pour les convertisseurs la durée de vie égale à 08ans [37] voire 10 ans [52], donc on conclura automatiquement que le convertisseur devra être remplacés 2 à 3 fois durant la durée de vie des modules ou de l'étude.

$$C_{TOTAL} = C_{mod} + C_{SUPP} + C_{CONV} \quad (V-1)$$

Au cout total, il convient d'ajouter le coût d'installation qui représente 15 à 30% du C ( têt)

$$C_{investisment} = C_{total} + C_{installati} \quad (V-2)$$

Donc le coût sur la durée de vie du système va dépendre du coût de maintenance et le coût de remplacement du sous système telle que (l'onduleur, hacheur ... etc.).

$$C_{Vie} = C_{investisment} + C_{maintenanc} + C_{remplacement} \quad (V-3)$$

Le coût actualisé est défini par [52] selon la relation suivante

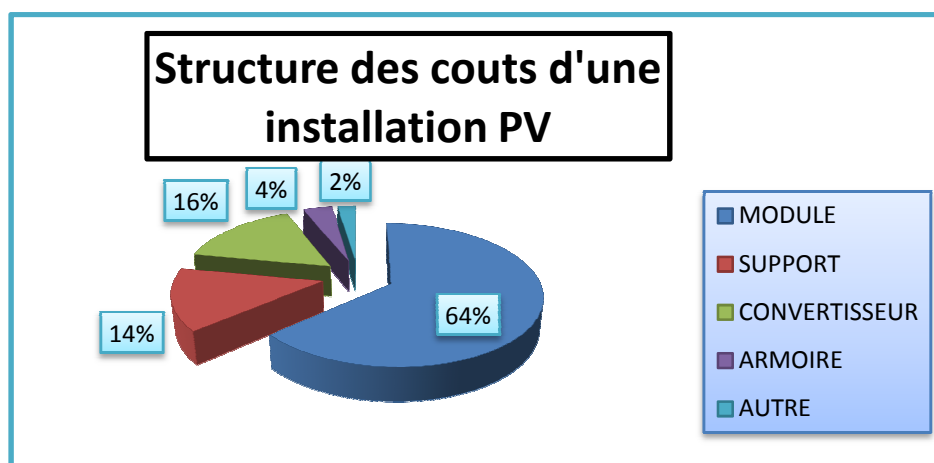
$$C_{\text{actualisé}} = \frac{C_{\text{Vie}}}{K} \qquad K = \frac{1 - (1 + a)^{-n}}{a}$$

(a) : Correspond au taux d'actualisation qui varie de 5 à 11%, c'est des taux fréquemment retenue qui permet de comparer des valeurs économiques qui s'échelonnent dans le temps. Il s'agit de ramener la valeur future d'un bien, d'une dépense à une valeur actuelle.

**Tableau V-1: Coût des différents éléments constituant la chaîne photovoltaïque**

<b>Coût des Modules</b>	<b>2£/WC</b>	
<b>Coût des Supports</b>	<b>0.45£/WC</b>	
<b>Coût des Convertisseurs</b>	<b>0.5£/WC</b>	
<b>Coût des Armoires CC et CA</b>	<b>0.12£/WC</b>	
<b>Coût des Câbles pour PV</b>	<b>0.075£/WC</b>	

La maîtrise de la technologie en Algérie est difficile, ce qui entraîne une dépendance aux importations de tous les équipements pour les systèmes photovoltaïques. Cette dépendance peut constituer une contrainte supplémentaire à son développement économique ,pour cela ,nous voyons qu'il ait des mesures incitatives appropriées et des modalités pratiques d'accès à ces incitations ,comme c'est le cas dans les pays européennes ,qui ont mis en place des mesures d'incitations réels d'investissement ,sous la forme d'une subvention ou d'une bonification de prêt.



**Figure V-2: Structure des Coûts d'une installation solaire photovoltaïque**

D'après la figure (V-2) on constate que les modules photovoltaïques représente la grande part avec 64% du prix total de l'installation qui s'élève à 3€/wc environ 324 DA/wc, suivi des convertisseurs avec 16%, les autres éléments de la chaîne de conversion photovoltaïque représente un investissement minime.

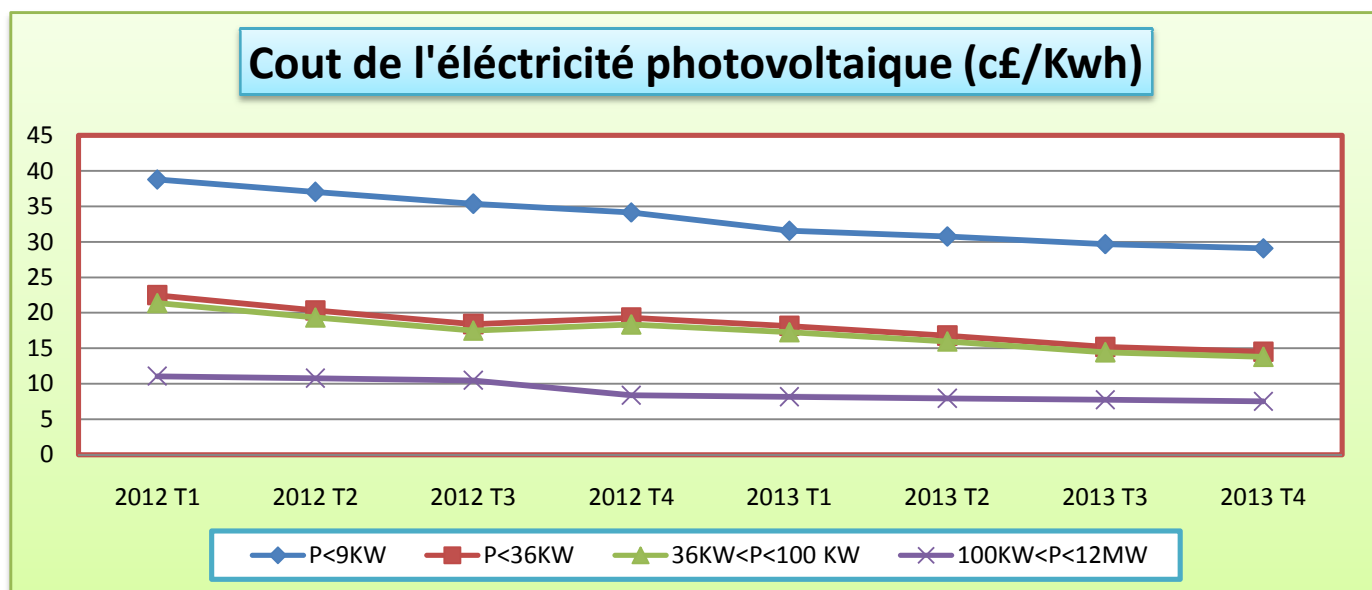
#### V-4 Coût de l'électricité photovoltaïque :

Le prix de l'électricité solaire photovoltaïque est en baisse rapide pour chacune des tranches de puissance, L'évolution des coûts est différente pour la partie « matérielle » cellules photovoltaïques, panneaux et équipements annexes d'une part et pour la partie « services » ingénierie, installation, entretien d'autre part. Dans le premier cas, les coûts diminuent beaucoup d'une année à l'autre. Dans le second cas, les coûts évoluent peu, dans un sens ou l'autre. Au total, le coût des systèmes complets installés et entretenus diminue moins vite que celui des panneaux photovoltaïques.

**Tableau V-2: Coût de l'électricité photovoltaïque.**

Cout du kWh(c€)	2012T1	2012T2	2012T3	2012T4	2013T1	2013T2	2013T3	2013T4
<b>P&lt;9KW</b>	<b>38.80</b>	<b>37.06</b>	<b>35.39</b>	<b>34.15</b>	<b>31.59</b>	<b>30.77</b>	<b>26.69</b>	<b>29.10</b>
<b>P&lt;36KW</b>	<b>22.49</b>	<b>20.35</b>	<b>18.42</b>	<b>19.34</b>	<b>18.17</b>	<b>16.81</b>	<b>15.21</b>	<b>14.54</b>
<b>36KW&lt; P&lt;100KW</b>	<b>21.37</b>	<b>19.34</b>	<b>17.50</b>	<b>18.37</b>	<b>17.27</b>	<b>15.97</b>	<b>14.45</b>	<b>13.81</b>
<b>100KW &lt;P&lt;12MW</b>	<b>11.08</b>	<b>10.79</b>	<b>10.51</b>	<b>8.40</b>	<b>8.18</b>	<b>7.96</b>	<b>7.76</b>	<b>7.55</b>





*Figure V-3: Evolution des Coûts de l'électricité solaire photovoltaïque pour différentes puissances*

Aucune statistique détaillée n'étant disponible sur les tarifs, les prix diffèrent d'un pays à un autre et selon la technologie appliquée, on remarque aussi que le coût d'électricité photovoltaïque n'a pas encore atteint le niveau des coûts des autres formes d'énergies qui alimentent les réseaux, mais nous pensons qu'il le sera dans un avenir proche.

#### **V-5 Analyse du marché de la filière photovoltaïque**

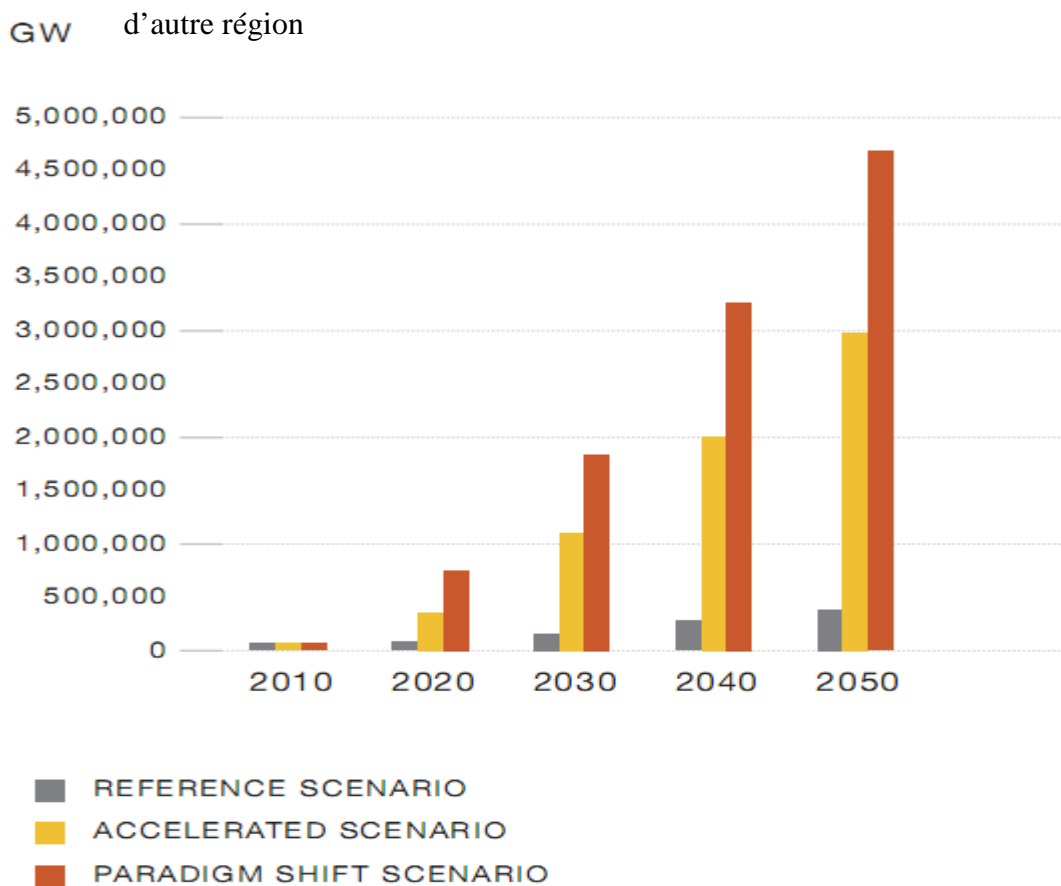
Le marché du photovoltaïque est en pleine expansion depuis ces dernières années, et les prévisions confirment cette tendance pour les prochaines années, ainsi les projets concernent essentiellement la baisse des coûts aussi bien pour les systèmes raccordés au réseau que pour les systèmes en sites isolés, ces projets représentent la cible prioritaire de recherche et développement du programme futur de la filière photovoltaïque.

Des changements très importants traversent aujourd'hui les marchés de l'électricité liés aux évolutions réglementaires environnementales et aux avancées technologiques, ainsi que la transformation des réseaux électriques en réseaux intelligents constituent la clé de cette mutation.

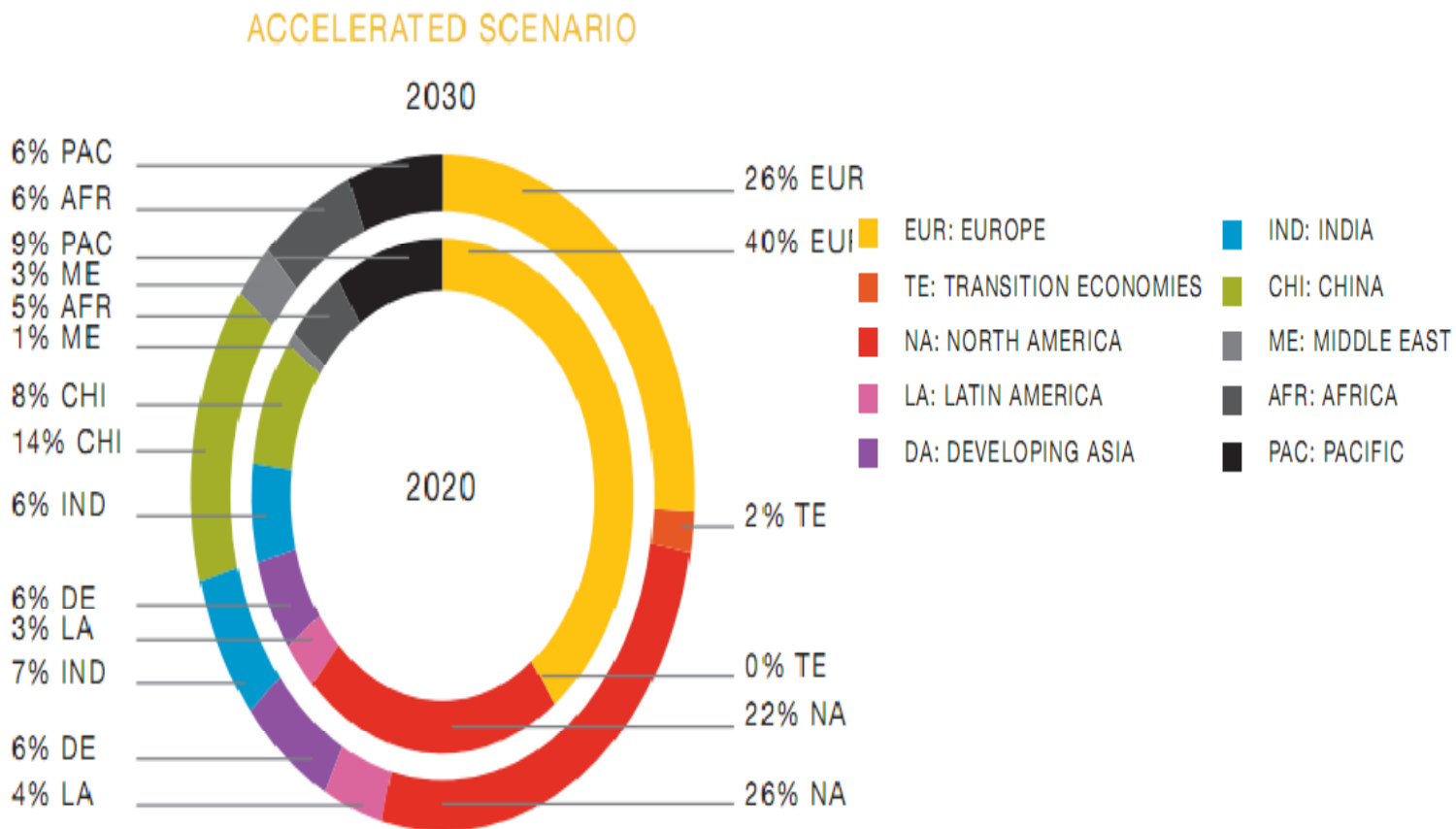
### V-5-1 Evolution du marché

Selon (European Photovoltaic Industry Association), trois(3) scénario sont envisagées afin d'estimer la progression du marché photovoltaïque au niveau mondiale

- ✓ Scenario optimum (paradigm shift scénario), qui estime le potentiel maximum du photovoltaïque, l'hypothèse est que les niveaux de soutien sont renforcés ,et accompagnées d'une variété d'instrument et de mesure administratives qui favorise largement le déploiement du photovoltaïque
- ✓ Scénario accéléré (accelerated scénario), l'hypothèse est la continuation du niveau de soutien actuel
- ✓ Scénario de référence (reference scenario) ,qui est basé sur celui de (International Energy Agency),qui prévoit que la chine et l'inde devraient croitre plus vite que



**Figure V-4: Estimation du potentiel du photovoltaïque Source (European Photovoltaic Industry Association)**



*Figure V-5 : Prévision du marché photovoltaïque annuel par région pour le scénario accéléré*

**V-6 Analyse économique**

La réduction des coûts des systèmes photovoltaïques est en effet une des premières priorités, pour ce faire, la recherche œuvre sur deux champs d'action interdépendants :

D'une part, la diminution du coût des procédés de fabrication et d'autre part, l'augmentation du rendement de conversion des cellules.

Depuis ces dernières années, la tendance s'est fortement inversée, en ce qui concerne le marché du photovoltaïque, la part des systèmes connectés au réseau est beaucoup plus importante que celle des systèmes autonomes, le raccordement au réseau est donc récent et possède des marges d'évolution technique et fonctionnelle très fortes.

Afin de justifier notre étude, une analyse économique s'impose. Dans ce contexte nous comparons la facturation du site étudié avec et sans GPV (Tab.3) sachant que les heures de travail sont de 8h jusqu'à 18h30' le reste sont des heures de gardiennage, donc du coucher jusqu'au lever du soleil, l'alimentation est importée exclusivement du réseau, par contre le jour l'alimentation est assurée par le GPV et le déficit est importé du réseau électrique.

Le prix moyen de consommation de l'énergie électrique est de 5DA le kWh. Ce prix comprend les frais d'abonnement, la taxe de la valeur ajoutée (TVA) et les droits fixes.

**Tableau V-3: Relevé des valeurs max de puissance.**

Prix unitaire	Sans GPV		Avec GPV	
	KWh GPV	KWh Réseau	KWh GPV	KWh Réseau
5DA/KWh				
Janvier	00.00	4052.0	3107	945
Février	00.00	4768.8	3871.8	897
Mars	00.00	4597.8	3487.8	1110
Avril	00.00	4173.4	3363.4	810
Mai	00.00	4477.5	3547.5	930
Juin	00.00	5352.4	3762.4	1590
Juillet	00.00	5152.9	3682.9	1470
Août	00.00	5207.0	3467	1740
Septembre	00.00	4334.9	3104.9	1230
Octobre	00.00	4159.2	3019.2	1140
Novembre	00.00	3935.7	2855.7	1080
Décembre	00.00	3291.6	2121.6	1170
Total	00.00	53503.2	39391.2	14112
Facture	267516.00DA		70560.00DA	

**Tableau V-4 : Analyse des coûts supportés par l'utilisateur sur la durée de vie du système**

<b>Consommateur utilisant uniquement le réseau</b>		<b>Consommateur utilisant le GPV et le réseau</b>	
<b>Frais d'abonnement et taxes sur 25 ans</b>	<b>40000.00DA</b>	<b>Frais d'abonnement et taxes sur 25 ans</b>	<b>40000.00DA</b>
<b>Coût d'énergie sur une année</b>	<b>267516.00DA</b>	<b>Coût de l'installation PV</b>	<b>220000.00DA</b>
<b>Coût d'énergie sur 25 ans</b>	<b>6687900.00DA</b>	<b>Coût d'énergie sur une année</b>	<b>70560.00DA</b>
<b>Coût de racc au réseau</b>	<b>220000.00DA</b>	<b>Coût d'énergie sur 25 ans</b>	<b>1764000.00DA</b>
		<b>Coût de racc au réseau</b>	<b>220000.00DA</b>
<b>Total</b>	<b>6947900.00DA</b>	<b>Total</b>	<b>2244000.00DA</b>

Notons que les frais d'abonnement diffèrent d'un utilisateur à un autre en fonction de la puissance à souscrire, nous avons simplifié notre analyse en supposons que le cout de raccordement au réseau basse tension qui est en fonction de la distance, serait égale au cout de l'installation du système photovoltaïque, parce que si le consommateur se trouve très loin au réseau électrique basse tension >1.5KML conformément au tableau (V-6) ; l'investissement dans un tél système de production photovoltaïque raccordé au réseau basse tension devient économiquement non rentable, surtout par manque d'une politique réglementaire en Algérie qui traite les tarifs d'électricité photovoltaïque puisque il existe des couts cachés qui ne sont pas pris en considération telle que la réduction du CO2 dans l'atmosphère (tab V-5) ,le rachat d'électricité photovoltaïque par les compagnies d'électricité (gestionnaires de réseau) .Dans ce cas l'investissement serait très intéressant si le consommateur est proche du réseau .le bénéfice réel d'une installation photovoltaïque connecté au réseau est sa capacité à fournir au réseau électrique un maximum de surplus énergétique [46 ][52] .

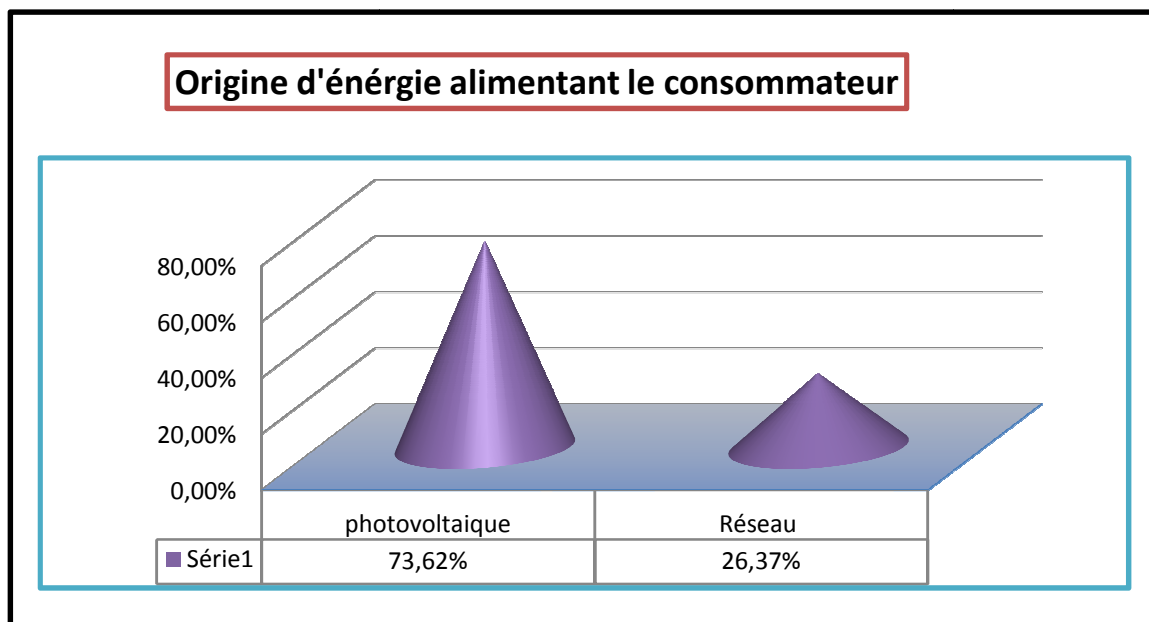
**Tableau V-5 : Taux d'émission de Co2 de différentes filières de production.**

Filière	Charbon	Gaz-Cycle Combiné	Photovoltaïque	Nucléaire	Hydraulique
Emission de Co2 Kg Co2/Mwh	900	400	100	6	4

La production de chaque 1MW de solaire photovoltaïque génère moins de 90 Kg de CO<sub>2</sub>, et peuvent évité environ l'émission 650 Kg Co<sub>2</sub> /an de l'électricité issu des combustibles.

**Tableau V-6 : Coûts de raccordement au réseau basse tension**

Travaux de mise en œuvre +fourniture basse tension	Unité	Prix(DA)
Conducteur 3*35+1*50+1*16mm <sup>2</sup>	KML	1400000.00DA
Conducteur 3*70+1*50+2*16mm <sup>2</sup>	KML	1600000.00DA
Conducteur 3*150+1*50mm <sup>2</sup>	KML	2000000.00DA

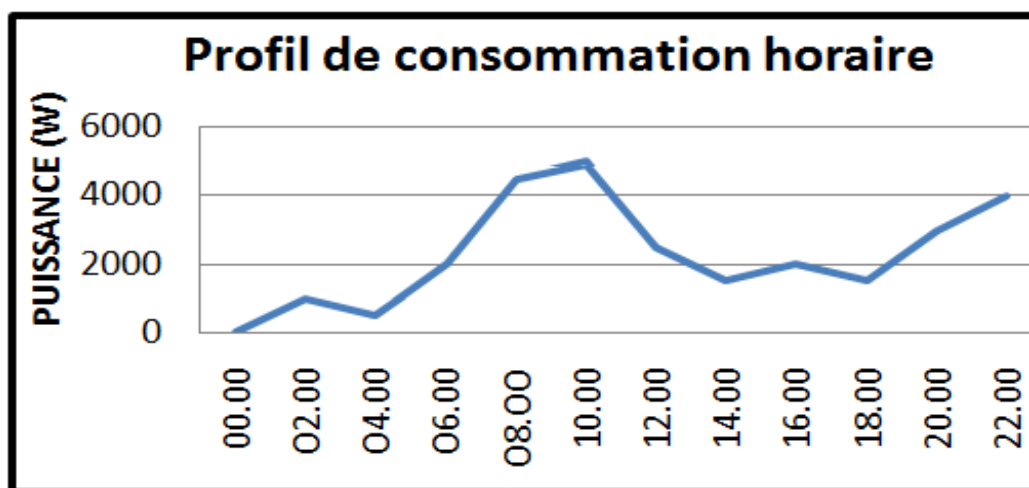
**Figure V-6: Origine d'énergie alimentant le consommateur**

Nous remarquons que l'énergie servant à alimenter le consommateur provient pour 73.62% du système photovoltaïque et pour 26.37% du réseau basse tension. aussi ce consommateur

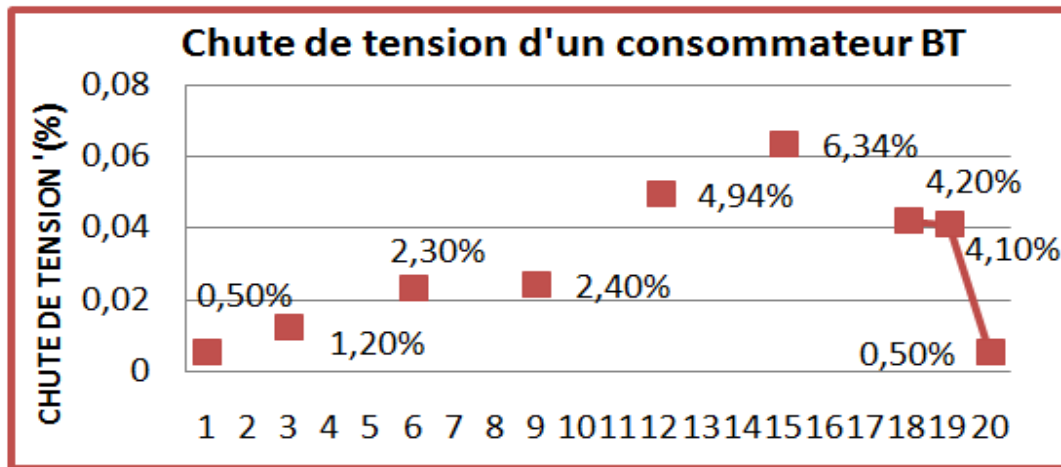
constatera que sa facture d'électricité diminue d'une manière significative durant le premier trimestre de consommation.

Différents travaux [37] [46] [52] ont montré que, les systèmes photovoltaïques connectés au réseau peuvent fournir d'importants bénéfices à la compagnie d'électricité ont matière d'amélioration du transport et de distribution de l'électricité dans le réseau, et sont susceptibles de réduire les pertes de ligne, que nous les considérons aussi un bénéfice non négligeable pour les gestionnaires de réseaux. Les résultats expérimentaux présentés dans le chapitre IV prouvent que les générateurs photovoltaïques raccordés aux réseaux basse tension permettraient de réduire les pertes et contribue à diminuer le transit d'énergie.

Une analyse au niveau résidentiel à été faite, dans le but de mesuré la satisfaction de la clientèle situé au bout du réseau basse tension qui représente un réel défi technique pour les distributeurs d'énergie. Pour cela nous avons relevés les chutes de tension d'un client à l'extrémité du départ N°2, qui à souscrit un abonnement de 6KVA, son profil de consommation au cour d'une journée est représenté par la Figure. (V-7).



*Figure V-7 : Profil de consommation horaire.*



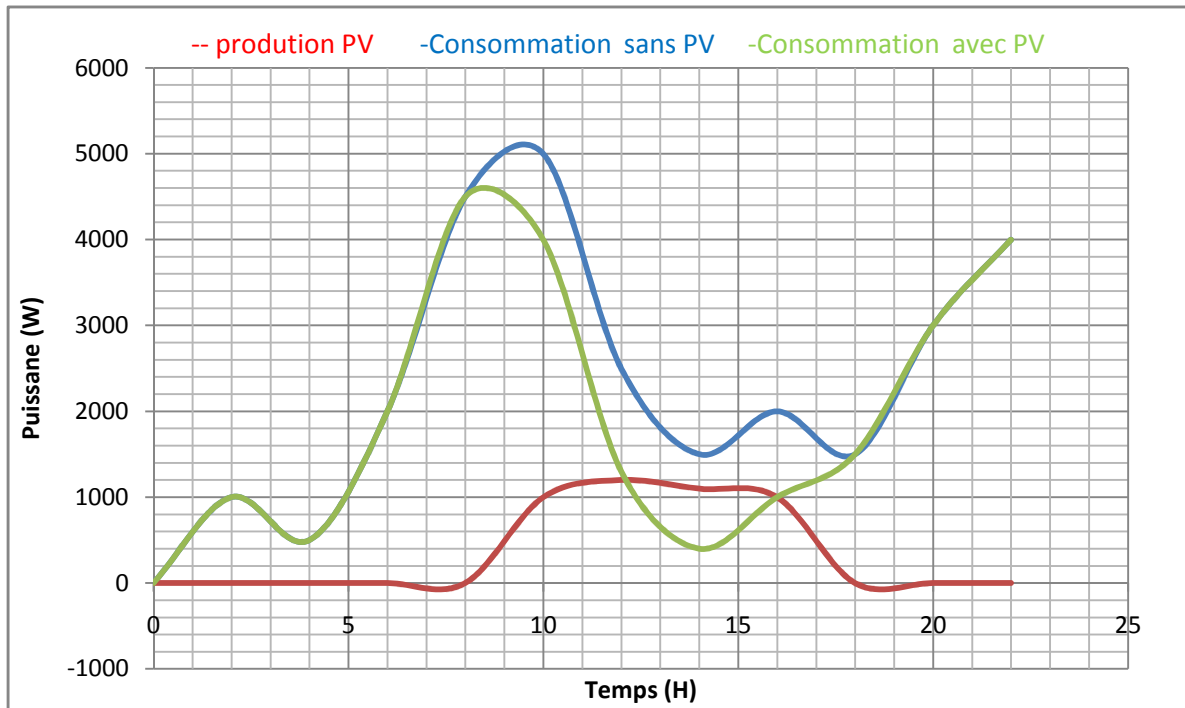
*Figure V-8: Chute de tension d'un consommateur.*

La pointe observée de ce consommateur se situe à 12h, après compensation globale, on constate que toutes les valeurs mesurées des chutes de tension sont normatives, la chute de tension maximale enregistrée est de 6,34%, ce client peut donc utiliser sans risque ces appareils électroménagers (climatisations, réfrigérateurs, machine à laver ...etc.).

Selon l'étude présentée on a vu que la qualité de la tension aux extrémités du réseau se détériore lorsque la demande en électricité augmente. L'amélioration des paramètres techniques (tension –courant) est une préoccupation du distributeur d'électricité, parmi les moyens utilisés actuellement, nous citons le renforcement des sections des conducteurs, la création des nouveaux postes MT/BT ...etc, ce qui nécessite beaucoup d'investissement et des dépenses supplémentaires pour les compagnies d'électricités qui cherchent toujours les moyens nécessaires afin de minimiser au maximum les coûts d'exploitation. Et l'installation des systèmes photovoltaïques peut permettre de redresser la tension et ainsi améliorer le confort du consommateur, en lui assurant une tension adaptée aux performances de ces appareils électriques, et ainsi des économies en investissement pourraient être effectuées.



plusieurs études ont été faites [44], [46], [52] montrent que Les installations photovoltaïques, plus proche des lieux de consommation permettraient de réduire les pertes et contribue à diminué le transit d'énergie dans les réseaux basse tension



*Figure V-9 : Réduction de la pointe grâce au PV*

**V-7 Conclusion**

Suivant les résultats obtenus, les solutions innovantes d'insertion des systèmes photovoltaïques sans stockage d'énergie au sein des réseaux de distribution peuvent intéresser certains consommateurs de petite taille et de même profil que la charge étudiée tels que les relais, station de pompage, signalisation routière et les administrations.

L'intégration des GPV sans stockage dans les addictions de certains consommateurs peut s'avérer économiquement et écologiquement intéressant [47,52]. Parce que les avantages de tels systèmes sont nombreux comme présenté dans cette étude, en effet comme la demande d'électricité ne cesse d'augmenter, leur utilisation permet de limiter les méfaits des énergies conventionnelles sur l'environnement, d'écarter la charge et d'éviter les chutes de tension pendant les périodes de forte demande, ou de renforcer les bouts de ligne électriques. Donc la connexion d'un GPV représente un bénéfice important pour la compagnie d'électricité et pour le consommateur surtout lorsqu'il se trouve proche du réseau BT, aussi la tendance des coûts à moyen et long terme ; à la baisse pour le photovoltaïque et la hausse pour les énergies non renouvelables, en fera de l'intégration des GPV dans les réseaux BT, un partenaire concurrentiel.

La connexion d'une installation photovoltaïque permet de diminuer une facture électrique ou de générer des revenus.

Dans une optique plus fine, on peut envisager que le photovoltaïque combatte en partie les problèmes de pauvreté et de croissance économique, puisque une installation pourrait engendrer des retombées financières et économiques à un particulier ou une collectivité.

Le développement du photovoltaïque raccordé au réseau pour ces prochaines années va dépendre de la rapidité avec laquelle les sociétés de distribution vont l'admettre comme source de courant pour alimenter le réseau au même titre que les autres sources.

Les résultats de la recherche et du développement ne seront transmis à l'industrie que lorsque la demande du marché garantira l'investissement nécessaire.

---

# CONCLUSION GENERALE

## **CONCLUSION GENERALE**

Les réseaux de distribution modernes doivent faire face aux nouveaux défis et aux nouvelles opportunités d'un système électrique en pleine évolution technologique et législative.

Du point de vue technique, le principal changement pour le réseau concerne la nature des charges connectées, d'une part les charges passives classiques ont subi une évolution très importante et d'autre part de nouvelles charges actives ont été connectées au réseau de distribution.

Du point de vue législatif, les principaux aspects qui ont eu une influence directe sur le réseau sont :

La libéralisation du marché électrique, qui établit de nouvelles règles de fonctionnement pour la génération et la distribution de l'énergie électrique, ce qui est en train de changer la façon dont on conçoit le système électrique.

Le respect de l'environnement, à travers des lois qui favorisent la production d'énergie électrique à base de systèmes décentralisés qui minimisent l'impact sur l'environnement (essentiellement des systèmes de production d'origine renouvelable et/ou à haut rendement et/ou à faibles émissions de gaz polluants).

La prise de conscience autour de l'importance de la qualité de la fourniture, pour assurer la cohabitation des charges polluantes électriquement et sensibles, en normalisant le niveau d'émissions des premières et d'immunité des secondes, ainsi que la responsabilisation des fournisseurs d'énergie.

Cette double évolution, technique et législative, a donné lieu à l'existence de ce travail, qui concerne un système, de production d'électricité décentralisée sans système de stockage pour des applications stationnaires de petites tailles, peut être raccordé au réseau de distribution, alimentées par un générateur photovoltaïque. ).Ces performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement, température ambiante, obstacles géographiques,

empoussièremment...etc.); du rendement des modules mais aussi des caractéristiques des autres équipements utilisés (régulateur, onduleur...etc.) qui constituent la chaîne de conversion électrique, qui présente beaucoup de pertes lors d'une utilisation mal adaptées. D'après l'historique des données météorologiques sur l'ensoleillement et la température sur un site de mesure, que nous considérons c'est le même site de production et de consommation, il s'est avéré que la région de souk ahras dispose d'un gisement solaire exceptionnellement élevé. La durée d'insolation sur la quasi-totalité de la région dépasse les 2500 heures annuellement. Le site de mesure qu'on a choisi peut orienter certains acteurs et les intéressés vers ce secteur de marché énergétique.

On a vu que la température et l'éclairement varient simultanément et en permanence et ont une influence importantes et des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïque. Une analyse statistique de la température extérieure du site d'implantation qui est le site de production à été faite dans le but d'optimiser les systèmes photovoltaïques. Une augmentation de la température extérieure peut diminuer la performance des panneaux et une diminution de la température peut l'augmenter.

Les solutions innovantes d'insertion des systèmes photovoltaïques sans stockage d'énergie au sein des réseaux de distribution peuvent intéresser certains consommateurs de petite taille et de même profil que la charge étudié tels que les relais, station de pompage, signalisation routière et les administrations.

Le convertisseur NPC permet d'obtenir des performances statiques et dynamiques très intéressantes et ses applications sont diverses de nos jours, le NPC apparaît également prometteur dans le domaine de l'énergie renouvelable et pour les applications basse tension [5,6,9]. Cependant l'utilisation d'un pont diviseur capacitif fait apparaître des problèmes d'équilibrages du point milieu. Le potentiel de celui-ci peut onduler avec une amplitude

importante, voir diverger dans certains cas. La conversion basée sur l'onduleur NPC a permis d'extraire le maximum de puissance que le panneau photovoltaïque peut transformer [6].

On remarque bien que l'onduleur impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeurs d'impulsions, ces créneaux sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau (en cas de raccordement du système photovoltaïque avec le réseau basse tension).c'est pourquoi celle ci filtrée afin de réduire le taux d'harmonique (THD) et nous avons obtenu à la sortie du système une tension utilisable et pouvant être injectée au réseau. La qualité d'énergie fournie aux utilisateurs dépend évidemment de celle de la tension au point de livraison .L'amélioration des paramètres techniques (tension –courant) est une préoccupation du distributeur d'électricité, parmi les moyens utilisés actuellement, nous citons le renforcement des sections des conducteurs, la création des nouveaux postes MT/BT ...etc. Mais la tendance actuelle vers une certaine décentralisation de la production électrique est susceptible de s'accroître suite à l'arrivée à maturité de nouveaux moyens de transformation de l'énergie primaire [1].Le raccordement des mini centrales photovoltaïque au réseau électrique basse tension peut résoudre ce problème. Nous avons proposés un modèle économique complet des éléments de la chaîne de conversion d'énergie, qui peut être utilisé comme moyen de compensation, en produisant l'énergie électrique à l'endroit du déficit. C'est une solution que nous la considérons fortement envisageable surtout pour les gestionnaires du réseau. Ces gestionnaires doivent aussi jouer leurs rôle pour le développement de l'énergie photovoltaïque, ils ne seront plus preneur d'ordre ,mais doivent être le conseiller qui accompagne le consommateur durant l'ensemble du processus d'utilisation de cette forme d'énergie parce que peu à peu ce consommateur devient la solution pour lequel le producteur fait appel à lui .

Il est temps de concevoir des réseaux BT, en tenant compte de la présence futur de systèmes PV, durant le traitement des demandes de raccordement l'or de construction de quartiers, des

zones d'activité commerciale, parce que dans un futur proche, les réseaux auront pour rôle non seulement de distribuer l'énergie produite mais également de mutualiser l'ensemble des productions décentralisées tout en garantissant le même niveau de fiabilité et de qualité d'approvisionnement [37].

Nous insistons aussi sur le rôle que doit jouer l'état algérien par l'adoption de certaines mesures incitatives et réglementaires, dédié à l'économie d'énergie et aux énergies renouvelables, et de profiter de l'étendue géographique ainsi que le gisement solaire important de l'Algérie.



### RÉFÉRENCES

- [1] Brambilla A., Gambarara M., Garutti A., and Ronchi F., 1999. New approach to photovoltaic arrays maximum power point tracking, Power electronics specialist's conference, 30th Annual IEEE, Vol. 2, 632-637.
- [2] Kasemsan S., Caliskan V.A., and Lee C.Q., 1993. Maximum power tracking in parallel connected converters, IEEE transactions on aerospace and electronics systems, Vol. 29, N°3.
- [3] Muselli A., Notton G., Louche A., 1999. Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management, solar energy, Elsevier, Vol. 65, 143-157.
- [4] Shraif M.F., 2002. Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique, Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse- France.139p.
- [5] Bae H.S., Park J.H., Cho B.H., and Yu G.J., 2005. New control strategy for 2-stage utility-connected photovoltaic power conditioning system with a low cost digital processor, Power electronics specialists conference, IEEE , 2925 – 2929.
- [6] Joseph Song Maguelle., 2004. Convertisseurs multi niveaux asymétriques alimentés par transformateurs multi secondaire basse fréquence, Réaction au réseau d'alimentation, Thèse de Doctorat E.P.E de Lausanne.235p.
- [7] Etude de la Poursuite du Point de Fonctionnement Optimal du Générateur Photovoltaïque. International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications 2005, Tunisia.
- [8] Aziz A., 2006. Propriétés électriques des composants électroniques minéraux et organiques, conception et modélisation d'une chaîne photovoltaïque pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire, Thèse de Doctorat en Sciences (Electronique), Université Paul Sabatier, Toulouse- France.234p.

## Références

---

[9] Ben Romdhane Y., & al., 1995. Elaboration and comparison of different methods for neutral point voltage control of NPC inverter, IEEE Conference, Stockholm.

[10] Jain A., Kapoor A., 2005. New approach to study organic solar cells using Lambert W-Functions, Solar energy materials and solar cells, Vol. 86, 197-205.

[11] Kassmi K., Hamdaoui M., & Olivié F. 2007. Caractérisation des panneaux photovoltaïques, Conception et Optimisation d'un système photovoltaïque pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire, revue des énergies renouvelables, CER'07, Oujda, Vol.10, 451-462.

[12] Huang Y. C., Liao Y. C., Li S., Wu M. C., Chen w., and Su W. F., 2009. Solar energy matériels and Solar Cells 93, 888-892.

[13] Etxeberria I., Les systèmes de l'électronique de puissance dédiés à la distribution électrique application à la qualité de l'énergie, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, septembre 2003, 242p.

[14] Moser A.J., Sariciftci N.S., C.R. Chimie 9 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved.

Keywords: Conjugated polymers; Bulk hetero junction; Photovoltaic's; Charge mobility.

[15] Wrobel D., Chimie, C. R 2003. Académie des sciences. Published by Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. All rights reserved.

Keywords: organic dye photovoltaic; spectroscopic properties; photo electrochemical cell.

[16] Angel M, Cid Pastor M., "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques", Thèse de doctorat, Institut national des Sciences Appliquées de Toulouse, septembre 2006.

[17] Minnaert B. et al. C. R. Chimie 9 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved.

## Références

---

- [18] Benoît brousse. Thèse n° 54.2004 réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenue par dépôt physique université de limoges.
- [19] Hart J.N., et al. C. R. Chimie 9 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved. Keywords: Dye-sensitized solar cell; TiO<sub>2</sub>; Sol-gel; blocking layer.
- [20] Nichapour Oleksiy. Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïque à arrières inter digités Thèse EEA Lyon : INSA de Lyon 2005,161 p.
- [21] Birame .M'hamed .Commande floue d'un convertisseur AC.DC à UPF en cascade avec un convertisseur DC.DC double étage alimentant un système de biberonnage par super capacité d'un véhicule électrique. Thèse magister U.B 2003,104 p.
- [22] Sébastien Marietoz .dimensionnement et commande des onduleurs multi niveaux Asymétrique .C.I.F.A Nantes 8-10 juillet 2002.
- [23] Ramdane.Lateb. Modélisation des machines asynchrones et synchrones à aimant avec prise en compte des harmoniques d'espace et de temps : Thèse EE de lorraine I.N.P de lorraine, 2006,122p.
- [24] Abdelaziz Arbaoui. Aide à la discision pour la définition d'un système éolien Adéquation au site et à un réseau faible : Thèse doctorat E.N.S.A.M bordeau 2006,158p.
- [25] Belhachet F., larbes C, .barazene L., .kharzi S., Commande neuro flou d'un hacheur MPPT 4th International. Conférence on computer Integrated. Manufacturing C.I.P 03-04 Novembre 2007.
- [26] Bruno François .Conception des dispositifs de commande des convertisseurs de Puissance par modulation directe des conversions : rapport de synthèse, université Des sciences et technologies de Lille : octobre 2003,136p.

## Références

---

- [27] Pankow Y., 2004. Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension, Thèse de doctorat de l'école national supérieure d'Art et Métier, Lille.162p.
- [28] Stefan Laurentiu capitaneanu. Optimisation de la fonction MLI d'un onduleur de tension deux niveaux. Thèse doctorat de I.N.P. de Toulouse 2002, 255p.
- [29] Lamri L., Production décentralisée de l'énergie électrique : Modélisation et contrôle d'une génératrice asynchrone auto excité, Thèse de doctorat, Université mentouri Constantine, juillet, 2010,141p.
- [30] Miller C., and P.N. Edwards, 'Changing the Atmosphere Expert Knowledge and Environmental Governance', Cloth / June 2001.
- [31] Iskander C.,Yousif, 'Recent Developments of Applying Solar Photovoltaic Technologies in Malta', Proceedings of the 'Enemalta' 25th Anniversary Conference on Energy Efficiency, Mediterranean Conference Centre, 18th-19th October, Valetta, Malta, 2002.
- [32] Kazutaka I., and Takeaki M., 'A Current Sensor less MPPT Control Method for a Stand-Alone-Type PV Generation System', Electrical Engineering in Japan, Vol. 157, N°2, pp. 65 - 71, 17 Aug 2006.
- [33] Hua C., and Lin J., 'An On-Line MPPT Algorithm for Rapidly Changing Illuminations of Solar Arrays', Renewable Energy, Vol. 28, N°7, pp. 1129 - 1142, June 2003.
- [34] Knopf H., 'Analysis, Simulation, and Evaluation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Methods for a Solar Powered Vehicle', Thesis, Portland State University, 1999.
- [35] Boussoukala T., "Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque à base du microprocesseur 6809 ", Thèse de Magister, Laboratoire de Matériaux et des Energies Renouvelables (LMER), Université de Tlemcen, 2002.

- [36] Rapport de stage, « E.D.F et les Energies Renouvelables », Direction de la communication, septembre 2000.
- [37] Géraud O., “Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur”, Thèse de doctorat, École normale supérieure de Cachan, décembre 2002.
- [38] Svensson, J and Sannino, A. “Active Filtering of Supply with Series-connected Voltage Source Converter”. EPE 2001. Graz.
- [39] Twining E., and Holmes, D.G. “Grid current regulation of a three-phase Voltage Source Inverter with an LCL Input Filter”. Proceedings of Power Electronics Specialist Conference-PESC'02.
- [40] Alali, M. A. E. “Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension (Automatisation des systèmes de puissance électriques) ”.Thèse doctoral de l'Université Louis Pasteur Strasbourg I, Génie électrique. Septembre 2002.
- [41] Petibon S., 2009. Nouvelle architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques, Thèse de Doctorat de l'université de Toulouse-France.145p.
- [42] Zainudin H.N., Mekhilef S., 2010 Comparison study of maximum power point tracker, Techniques for PV systems. Proceedings of the 14th international middle east power systems. Conference (MEPCON'10), Cairo University, Egypt, 19-21.
- [43] Richardo O., “ Réglage coordonné de Tension dans les Réseau de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée” Thèse soutenue le 10 octobre 2006.
- [44] Mogos, Emmanuel Florin Production décentralisée dans les réseaux de distribution, thèse de Doctorat génie électrique ENSAM, soutenue le 20 juillet 2005.

## Références

---

- [45] Norme CEI 61727 Ed.2 «Systèmes photovoltaïques (PV). – Caractéristiques de l.'interface de raccordement au réseau », 2004.
- [46] Courtecuisse V., Supervision d'une centrale multi sources à base d'éoliennes et de stockage d'énergie connectée au réseau électrique, Thèse de doctorat, école nationale supérieure d'arts et métiers, novembre 2008 296 p.
- [47] Abouchacra F., Valorisation et optimisation du stockage d'énergie dans un réseau d'énergie électrique, Thèse de doctorat de l'Université Paris-Sud 11, le 4 juillet 2005.
- [48] Gabriel O., Système inertiel de stockage d'énergie associée à des générateurs éoliens, Thèse de doctorat, école nationale supérieure d'arts et métiers, Lille 2005,181p.
- [49] Leclercq L., Apport de stockage inertiel associé à des éoliennes dans un réseau électrique en vue d'assurer des services système, Thèse de doctorat, laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance, Lille décembre, 2004.
- [50] Zarour L., Etude technique d'un système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien hors réseau, Thèse de doctorat, Université mentouri de Constantine, 2010,123p.
- [51] Belakehal S., Conception et commande des machines à aimants permanents dédiées aux énergies renouvelables, Thèse de doctorat, Université mentouri de Constantine, 2010,147p.
- [52] Acquaviva V., Analyse de l'intégration des systèmes énergétiques à sources renouvelables dans les réseaux électriques insulaires, Thèse de doctorat, Université de corse, juillet, 2009,253p.
- [53] Recommendations' for Utilities. IEE PV Upscale, WP4-Deliverable 4.4, 2008.
- [54] Ueda Y., Detailed Performance Analyses Results Of Grid-Connected Clustered PV Systems In Japan.–First 200 Systems Results Of Demonstrative Research On Clustered PV Systems, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, 2005.

## Références

---

- [55] Bilan du secteur de l'énergie et des mines 2000-2006, Ministère de l'énergie et des mines, Edition 2007.
- [56] Bilan du secteur de l'énergie et des mines 1962-2007, Ministère de l'énergie et des mines, Edition 2008.
- [57] Les bilans énergétiques de l'Algérie par année 2003-2004-2005, Site web : <http://www.men-aleria.org/fr/statistiques>.
- [58] Duvauchelle C., Gaiddon B., "Version française et évolutions de la Prénorme DIN VDE 0126, projet ESPRIT, avril 2010.
- [59] Cour CEER
- [60] Guide UTE C15-712, "Installations photovoltaïques. ", Février 2008.
- [61] Guide UTE C15-400, Raccordement des générateurs d'énergie électrique dans les installations alimentées par un réseau public de distribution, 2005.

---

# ANNEXE



---

**Programme de la caractéristique des cellules photovoltaïque**

```

clc
clear
close all

% Les constantes
Eref=1000; %Irradiation de référence
Tjref=25+273; %Température de référence de la cellule photovoltaïque
q=1.6e-19; % charge de l'électron
K=1.38e-23; %constante de Boltzmann
Eg=1.12*1.6e-19; %Energie de gap
Nod=45; %Température nominale de fct
Ta=25; %température ambiante

% les paramètres Pi
P1=0.0036;P2=0.0001;P3=-0.0005;P4=70.875;
Rs=0.614; %résistance série
Rsh=160; %résistance shunt
% **** Les paramètres variables
Es=[850 850 850 850 850 850 850]; %Ensoleillement W/M^2 (150 à 850)
Tj=[39 36 33 28 24 22 20]; % température de la cellule(20 à 38 °c)
%Tj=[25 25 25 25 25 25 25];
Tj=Tj+273; % température de la cellule [K]

for k=1:length(Es)
    % Photo courant
    Ip(k)=P1*Es(k)*(1+P2*(Es(k)-Eref)+P3*(Tj(k)-Tjref));

    % courant de saturation
    Isat(k)=P4*(Tj(k)^3)*exp(-Eg/(K*Tj(k)));
    v=linspace(0,40,100); %tension
    for i=1:length(v)
        I0=1.5; I1=0.6;%valeur initiale
        [I,fval]=fminbnd(@(I)
f_courant(I,v,Ip,Isat,Tj),I0,I1,optimset('TolX',1e-12,'Display','iter'))
        x(i)=fzero('f1',x0,optimset([],Re(i),ed(i)));
        I(i,k)=fzero('f_courant',I0,optimset('TolX',1e-
12,'Display','off'),v(i),Ip(k),Isat(k),Tj(k));
        P(i,k)=I(i,k)*v(i);
    end
end
figure(1),grid on
plot(v,I),axis([0 40 0 90])
plot(v,I(:,1)),gtext('Es=850W/m²,T=25°C')

hold on
plot(v,I(:,2)),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
plot(v,I(:,3)),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
plot(v,I(:,4)),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
plot(v,I(:,5)),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
plot(v,I(:,6)),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
plot(v,I(:,7)),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
figure(2),plot(v,P),axis([0 40 0 90]),grid on
plot(v,I(:,1)),axis([0 40 0 90]),gtext('Es=850W/m²,T=38°C')
hold on
plot(v,I(:,2)),gtext('Es=600W/m²,T=32°C')
plot(v,I(:,3)),gtext('Es=480W/m²,T=28°C')

```

**Programme de recherche du point de puissance max (perturbation and observation).**

```

% ECEN2060 DM 2/19/08
% Simple MPP "perturb and observe" tracking algorithm
% using Boost DC-DC input current Iref as the control variable
% Pold, Iref and Increment are initialized in InitializeMPPtrackIref.m
%
% Input: power P to be maximized
% Output: reference current
function y = MPPtrackIref(P)

global Pold;
global Iref;
global Increment;

IrefH = 5; % upper limit for the reference current
IrefL = 0; % lower limit for the reference current
DeltaI = 0.02; % reference current increment

if (P < Pold)
    Increment = -Increment; % change direction if P decreased
end

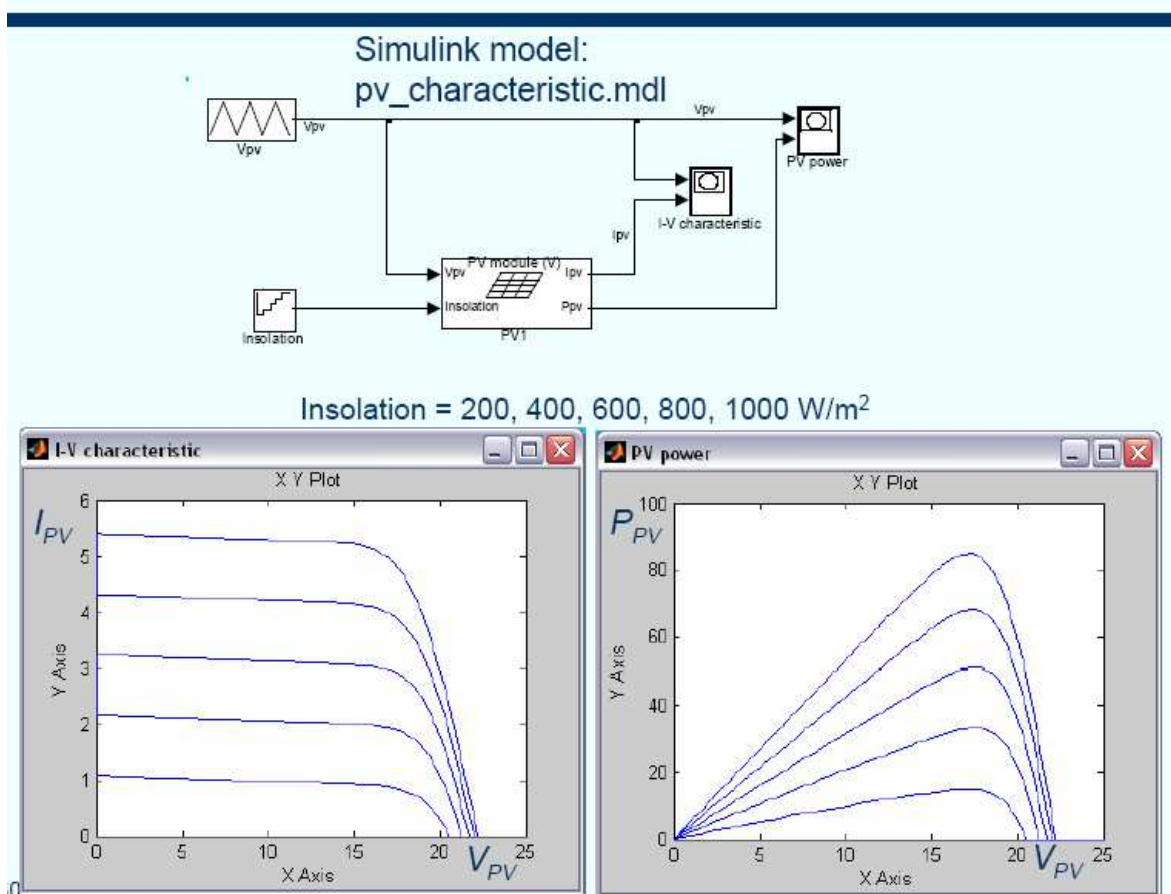
% increment current reference
Iref=Iref+Increment*DeltaI;

% check for upper limit
if (Iref > IrefH)
    Iref = IrefH;
end

% check for lower limit
if (Iref < IrefL)
    Iref = IrefL;
end

% save power value
Pold = P;
% output current reference
y = Iref;
% ECEN2060
% find maximum power point in the PV cell data generated by pvl.mdl
pmax = max(PV.signals.values(:,2));
vrange = max(PV.signals.values(:,1));
irange = max(PV.signals.values(:,3));
[tf,index]=ismember(pmax,PV.signals.values(:,2));
disp(' MPP power: ')
disp(PV.signals.values(index,2));
disp(' MPP voltage: ')
disp(PV.signals.values(index,1));
disp(' MPP current: ');
disp(PV.signals.values(index,3));
figure(1)
plot(PV.signals.values(:,1),PV.signals.values(:,2)); % plot P(Vpv)
axis([0 vrange 0 pmax]);
figure(2)
plot(PV.signals.values(:,1),PV.signals.values(:,3)); % plot Ipv(Vpv)
axis([0 vrange 0 irange]);

```

*Model de simulation*

```

%IRRADWINDOW Calculates the irradiation through window
%
% SYNTAX: E=irrad(Dh,En,iday,LST,gamma,beta)
%
% OUTPUT: vector E
% E(1)= diffuse solar irradiation on an inclined surface
% E(2)= direct solar irradiation on an inclined surface
% E(3)= total solar irradiation on an inclined surface
% E(4)= total solar irradiation on a horizontal surface
%
% INPUT:
% (scalar) Dh      = diffuse horizontal irradiation      [W/m2]
% (scalar) En      = direct normal irradiation           [W/m2]
% (scalar) t       = time seconds after midnight 1 january
% (scalar) gamma   = azimuth angle of the surface,
%                   east:gamma = -90,    west:gamma = 90
%                   south:gamma = 0,     north:gamma = 180
% (scalar) beta    = inclination angle of the surface,
%                   horizontal: beta=0, vertical: beta=90
%
% default geographical position: De Bilt
% default ground reflectivity (albedo): 0.2
%
% EXAMPLE: E=irrad(800,200,201,12,0,45)
% ANSWER: E=1.0e+003 *
%   0.8569    0.1907    1.0759    0.9684
%

```

```

% REF: Perez (zie Solar Energy volume 39 no. 3)
%
% JvS feb 2002, aanpassing voor inlezen standaard klimaatfiles

function EW=irradwindow(tclim,Dh,En,gamma,beta,WA,WZTA);

%(scalar) iday = day of the year          (1-365)
%(scalar) LST  = Local Standard time (0 - 24) [hour]

iday=1+floor(tclim/(24*3600));
LST=floor(rem( (tclim/3600),24));

% L    = Latitude [graden]
L=39.8;
% LON = Local Longitude [graden] oost is positief
LON=-104.9;
% LSM = Local Standard time Meridian [graden] oost is positief
LSM=-105;
% gref = albedo
gref=0.2;

r=pi/180;
L=L*r;
beta=beta*r;
theta=2*pi*(iday-1)/365.25;
el=4.901+0.033*sin(-0.031+theta)+theta;
% declination
delta=asin(sin(23.442*r)*sin(el));
q1=tan(4.901+theta);
q2=cos(23.442*r)*tan(el);
% equation of time
ET=(atan((q1-q2)/(q1*q2+1)))*4/r;
AST=LST+ET/60-(4/60)*(LSM-LON);
h=(AST-12)*15*r;

% hai=sin(solar altitude)
hai=cos(L)*cos(delta)*cos(h)+sin(L)*sin(delta);

E(1)=0; E(2)=0; E(3)=0; E(4)=0;
if hai>0,

% salt=solar altitude
salt=asin(hai);
phi=acos((hai*sin(L)-sin(delta))/(cos(salt)*cos(L)))*sign(h);
gam=phi-gamma*r;

% cai=cos(teta)
cai=cos(salt)*cos(abs(gam))*sin(beta)+hai*cos(beta);
% teta = incident angle on the tilted surface
teta=acos(cai);

% salts=solar altitude for an inclined surface
salts=pi/2-teta;

% Perez (zie Solar Energy volume 39 no. 3)

```

---

```
% berekening van de diffuse straling op een schuin vlak
% Approximatin of A and C, the solid angles occupied by the circumsolar
region,
% weighed by its average incidence on the slope and horizontal
respectively.
% In the expression of diffuse on inclined surface the quotient of A/C is
% reduced to XIC/XIH. A=2*(1-cos(beta))*xic, C=2*(1-cos(beta))*xih
% gecontroleerd okt 1996 martin de wit

% alpha= the half-angle circumsolar region
alpha=25*r;

if salts<=-alpha,
    xic=0;
elseif salts>alpha,
    xic=cai;
else
    xic=0.5*(1+salts/alpha)*sin((salts+alpha)/2);
end

if salt>alpha,
    xih=hai;
else
    xih=sin((alpha+salt)/2);
end

epsint=[1.056 1.253 1.586 2.134 3.23 5.98 10.08 999999];
f1lacc=[-0.011 -0.038 0.166 0.419 0.710 0.857 0.734 0.421];
f12acc=[0.748 1.115 0.909 0.646 0.025 -0.370 -0.073 -0.661];
f13acc=[-0.080 -0.109 -0.179 -0.262 -0.290 -0.279 -0.228 0.097];
f21acc=[-0.048 -0.023 0.062 0.140 0.243 0.267 0.231 0.119];
f22acc=[0.073 0.106 -0.021 -0.167 -0.511 -0.792 -1.180 -2.125];
f23acc=[-0.024 -0.037 -0.050 -0.042 -0.004 0.076 0.199 0.446];

% determination of zet = solar zenith angle (pi/2 - solar altitude).
zet=pi/2-salt;

% determination of inteps with eps
inteps=1;
if Dh>0,
    eps=1+En/Dh;
    i=find(epsint>=eps);
    inteps=min(i);
end

% calculation of inverse relative air mass
airmiv=hai;
if salt<10*r,
    airmiv=hai+0.15*(salt/r+3.885)^(-1.253);
end

% calculation of extraterrestrial radiation
Eon=1370*(1+0.033*cos(2*pi*(iday-3)/365));

% delta is "the new sky brightness parameter"
delta=Dh/(airmiv*Eon);

% determination of the "new circumsolar brightness coefficient
% (flacc) and horizon brightness coefficient (f2acc)"
```

---

```
f1acc=f11acc(inteps)+f12acc(inteps)*delta+f13acc(inteps)*zet;
f2acc=f21acc(inteps)+f22acc(inteps)*delta+f23acc(inteps)*zet;

% determination of the diffuse radiation on an inclined surface
E(1)=Dh*(0.5*(1+cos(beta))*(1-f1acc)+f1acc*xic/xih+f2acc*sin(beta));
if E(1)<0,
    E(1)=0;
end

% horizontal surfaces treated separately
% beta=0 : surface facing up, beta=180(pi) : surface facing down
if beta>-0.0001 & beta<0.0001,
    E(1)=Dh;
end
if beta>(pi-0.0001) & beta<(pi+0.0001),
    E(1)=0;
end

% Isotropic sky
% E(1)=0.5*(1+cos(beta))*Dh;

%correctie hoekafhankelijkheid window bestest
cai=min([cai 0.99999]);
cai=max([0.0001 cai]);

Angref=[cos((pi/180)*[0:10:90])];
ZTAref=[0.789 0.789 0.787 0.784 0.775 0.754 0.7 0.563 0.3 0 ]/0.789;
Angcorr=interp1(Angref,ZTAref,cai);

% direct solar radiation on a surface
E(2)=En*cai*Angcorr;

if E(2)<0.0,
    E(2)=0;
end

% the ground reflected component: assume isotropic
% ground conditions.
Eg=0.5*gref*(1-cos(beta))*(Dh+En*hai);

% global irradiation
E(4)=Dh+En*hai;

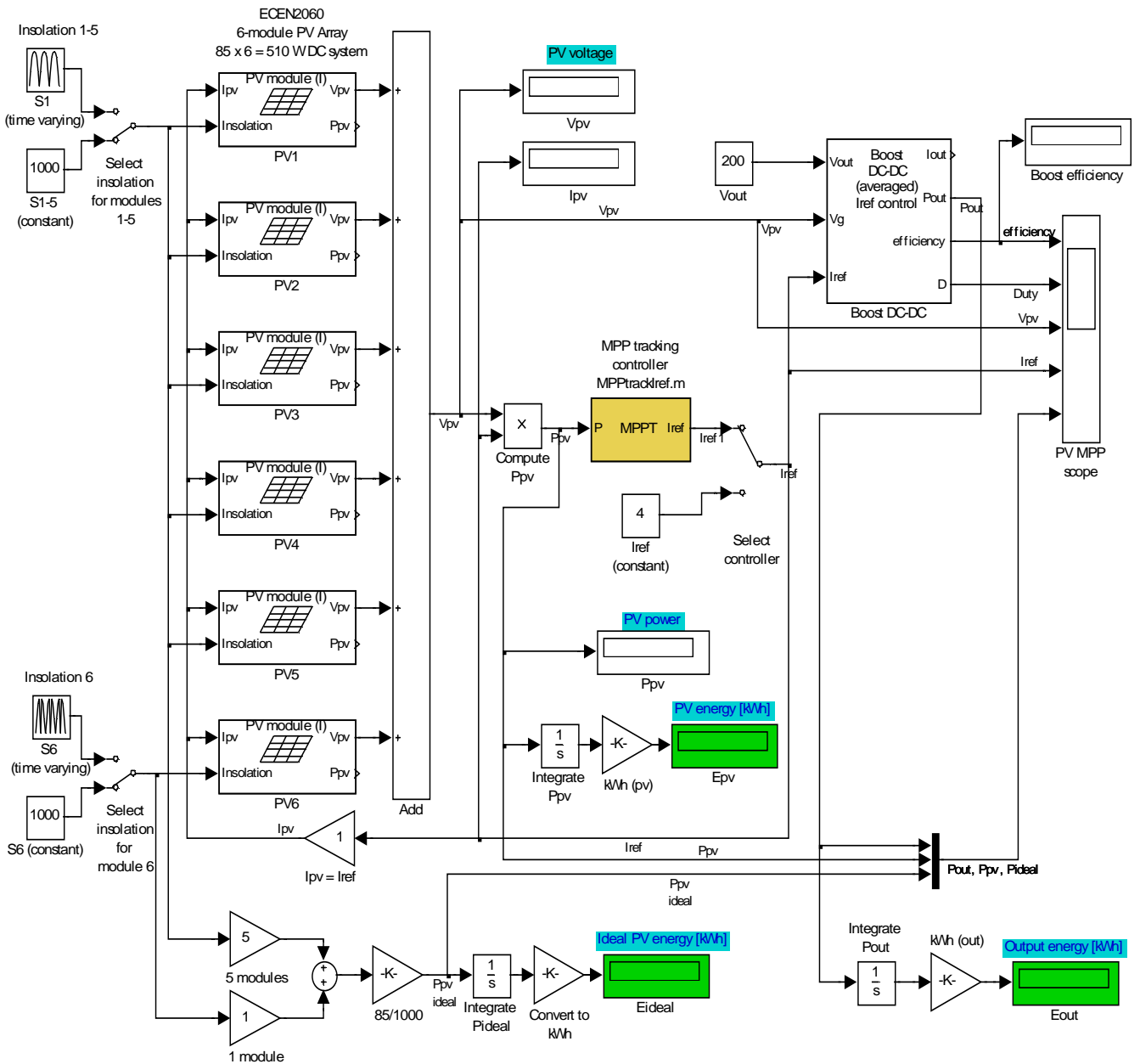
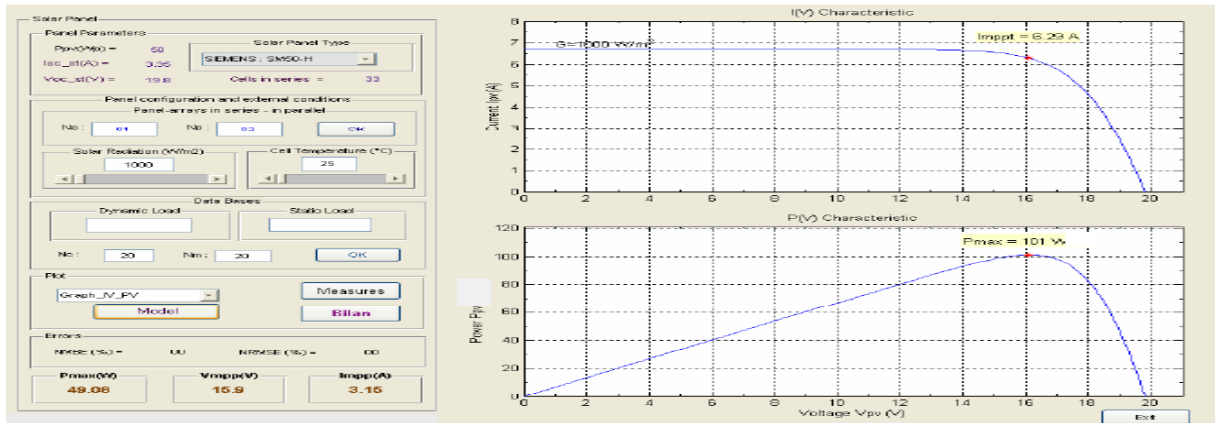
% total irradiation on an inclined surface
E(3)=E(1)+E(2)+Eg;
end
EW=E(3)*WA*WZTA;
```

```

%***** MODELISATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES*****
%-----
clear;
clc
%***** Lecture des données *****
D = input('jour : ');
M= input('mois : ');
G= input('Ensoleillement : ');
Tmax=input('Température maximale : ');
Tmin=input('Température minimale : ');
%***** Equation des temps *****
L=10.395; %longitude
a=36.698; %latitude
N=0.988*[D+30.3*(M-1)];%numéro du jour dans l'année
h= 23.5 *cos((N+10)*pi/180);%Calcul de la déclinaison
Et=0.123*cos((N+87)*pi/180)-sin(2*(N+10)*pi/180)/6;%équation du temps
u=tan(h*pi/180)*tan(a*pi/180);
GMTsunrise=12-Et+[L-(acos(u)*180/pi)]/15; %Lever du soleil
GMTsunset=12-Et+[L+(acos(u)*180/pi)]/15; %Coucher du soleil
Dt=GMTsunset-GMTsunrise;%Longueur du jour
t = GMTsunrise:0.5:GMTsunset;
%***** Distribution de l'ensoleillement *****
Imax = pi*G/(2*Dt);
Imod = Imax*sin(pi*(t -GMTsunrise)/Dt);
%-----Distribution de la température-----
Tmod=(Tmax+Tmin)/2+((Tmax-Tmin)/2)*sin((2*pi*(t-GMTsunrise-1)/24));
%*****Traçage des courbes*****
figure(1);
plot(t,Imod,'-b','LineWidth',1.5);grid on;
xlabel('Heure','FontSize',8);
ylabel('Ensoleillement [W/m²]','LineWidth',8);
figure(2);
grid on ;
plot(t,Tmod,'-b','LineWidth',1.5);grid on;
xlabel('Heure','FontSize',8);
ylabel('Température [°C]','FontSize',8);

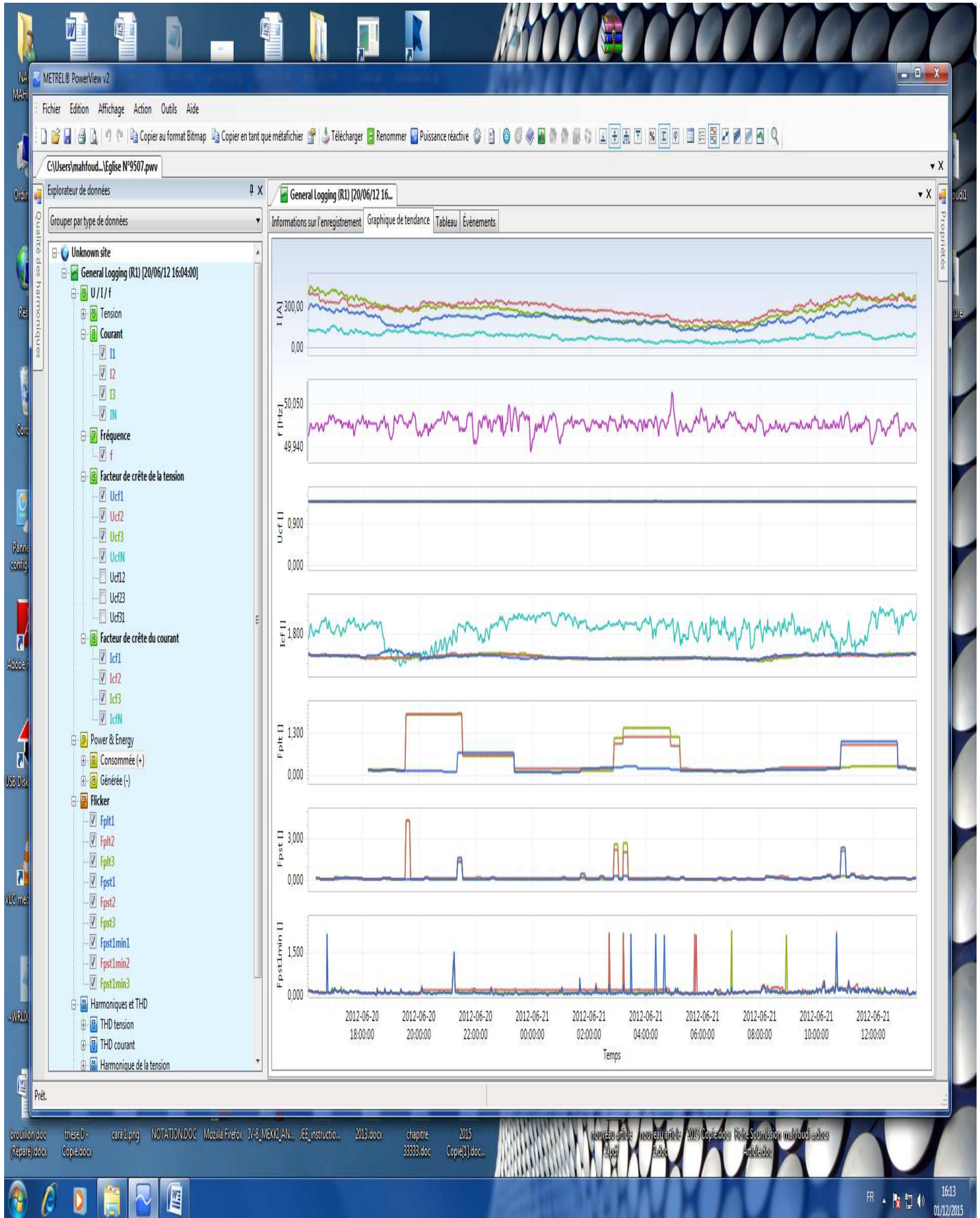
```

Etage d'adaptation et Caractéristique I(V) et P(V)





Résultats de la campagne de mesure par modèle Metrel power



The screenshot displays the METREL PowerView v2 software interface. The main window is titled "General Logging (R1) [20/06/12 16:04:00]". The left sidebar shows a tree view of data categories, including "Unknown site", "General Logging (R1) [20/06/12 16:04:00]", "U / I / f", "Tension", "Courant", "Fréquence", "Facteur de crête de la tension", "Facteur de crête du courant", "Power & Energy", "Flicker", and "Harmoniques et THD".

The right pane displays the following information:

### General Logging (R1) [20/06/12 16:04:00]

Général Enregistrement, enregistré sur 20/06/2012 16:04:00, durée: 21 h 26 m 0 s.  
→ Cliquez ici pour ajouter une description de l'enregistrement

**Propriétés de l'enregistrement**

- Début: 20/06/2012 16:04:00,036
- Arrêt: 21/06/2012 13:30:00,773
- Durée: 21 h 26 m 0 s (643 données x 2 m 0 s)
- Cause de l'arrêt: Arrêt manuel, Opération réussie

**Paramètres de mesure**

- Gamme U: 110-240V L-L
- Pince II / 2 / 3: Smart (1x3kA), gamme 100%
- Pince III x Smart (1x3kA), gamme 100%
- Sync. fréquence: UI
- Connexion: 4W

**Paramètres de l'évènement**

- Tension nominale: 230,00 V
- Seuil du creux: 90,00 % (207,00 V)
- Seuil de la bosse: 110,00 % (253,00 V)
- Seuil de la coupure: 5,00 % (11,50 V)

**Propriétés de l'instrument**

- Modèle: METREL PowerQ4 Fw10.0.615
- Version: hws: 5.0, fw: 10.0.615
- S/N: 11271920
- Données de l'utilisateur: Operator

**Informations diverses**

- Téléchargé sur: 21/06/2012 13:53:44,359
- Téléchargé par: Administrateur
- Téléchargé avec: METREL® PowerView v2.0.0.900 (32-bit), fr-FR
- Version de Windows: Windows XP 32-bit (Microsoft Windows NT 5.1.2600 Service Pack 3)

The taskbar at the bottom shows the system tray with the date 01/12/2015 and time 16:15. The taskbar also contains several open documents, including "brouillon.doc", "these D- (Répare).doc", "care1.png", "NOTATION.DOC", "Mozilla Firefox", "IV-4\_MBX0\_AN...", "JEE\_instructio...", "2013.doc", "chapitre 33333.doc", "2015 Copie[1].doc...", "nouveau article", "nouveau article", "AWS Copie.doc", "Pièce Scansion", "mahfoud arboce", "mahfoud arboce", "Articles.doc", and "Articles.doc".



Doc1 - Copie.docx - Microsoft Word

Accueil Insertion Mise en page Références Publipostage Révision Affichage

METREL® PowerView v2

Fichier Edition Affichage Action Outils Aide

C:\Users\mahfoud...Eglise N°9507.pvw

Explorateur de données

Groupier par type de données

General Logging (R1) [20/06/12 16:00:00]

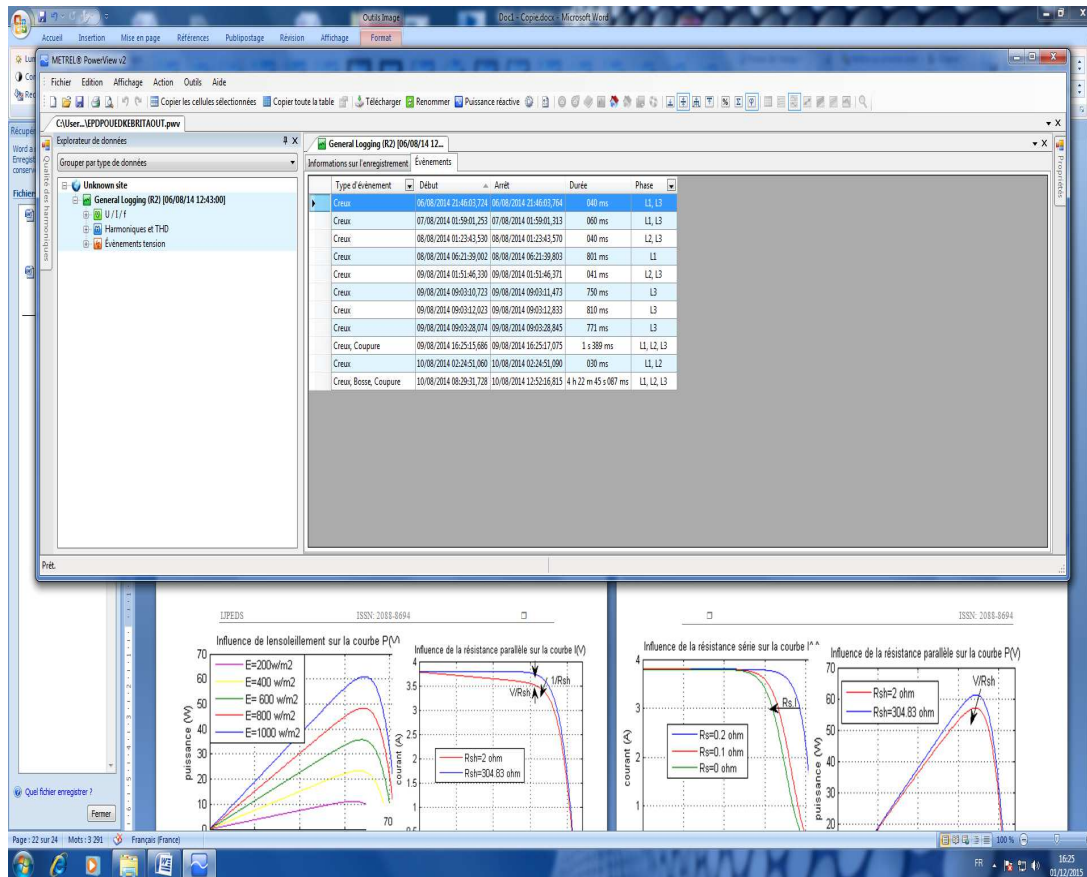
Informations sur l'enregistrement Graphique de tendance Tableau Événements

Heure [UTC]	Courant				Fréquence				Facteur de crête de la tension				Facteur de crête du courant				Flicker PLT			Flicker A		
	I1	I2	I3	IN	f	Uct1	Uct2	Uct3	UctN	Ict1	Ict2	Ict3	IctN	Fp1t1	Fp1t2	Fp1t3	Fpst1	Fpst2	Fpst3			
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
20/06/2012 16:05:59.922	285,90	389,60	423,90	141,00	49,970	1,390	1,390	1,390	...	1,530	1,520	1,510	1,740	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:07:59.989	296,10	396,30	411,30	122,40	49,980	1,390	1,390	1,390	...	1,530	1,520	1,520	1,790	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:09:59.991	321,00	393,00	454,50	137,40	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,520	1,520	1,500	1,940	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:12:00.002	324,90	401,40	447,90	125,40	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,500	1,930	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:14:00.036	317,40	407,40	447,30	131,10	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,500	1,850	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:15:59.866	308,70	400,20	430,50	126,90	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,500	1,820	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:17:59.904	303,30	392,10	416,10	126,90	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,510	1,780	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:19:59.925	312,60	391,80	420,30	123,60	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,510	1,840	...	...	...	...	...	...	...		
20/06/2012 16:21:59.927	312,90	388,50	421,50	122,10	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,500	1,870	...	...	...	...	...	...	0,167 (		
20/06/2012 16:23:59.945	312,90	391,80	435,00	133,80	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,500	1,840	...	...	...	...	...	...	0,167 (		
20/06/2012 16:25:59.952	318,60	398,70	449,10	139,20	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,500	1,490	1,850	...	...	...	...	...	...	0,167 (		
20/06/2012 16:28:00.003	305,70	391,80	428,10	130,80	49,980	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,500	1,500	1,820	...	...	...	...	...	...	0,167 (		
20/06/2012 16:29:59.842	289,20	360,90	413,70	131,10	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,510	1,890	...	...	...	...	...	...	0,167 (		
20/06/2012 16:31:59.871	285,60	344,40	410,70	132,60	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,520	1,500	1,930	...	...	...	...	...	...	0,101 (		
20/06/2012 16:33:59.888	296,70	348,60	416,70	128,40	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,520	1,500	1,970	...	...	...	...	...	...	0,101 (		
20/06/2012 16:35:59.912	300,00	346,80	413,10	124,20	49,990	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,520	1,500	1,990	...	...	...	...	...	...	0,101 (		
20/06/2012 16:37:59.956	297,90	346,80	412,80	125,10	49,980	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,520	1,500	1,970	...	...	...	...	...	...	0,101 (		
20/06/2012 16:39:59.974	294,60	344,70	402,30	118,20	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,520	1,510	1,990	...	...	...	...	...	...	0,101 (		
20/06/2012 16:41:59.970	287,10	325,50	380,70	112,50	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,500	1,510	2,040	...	...	...	...	...	...	0,085 (		
20/06/2012 16:43:59.975	290,10	343,50	397,50	121,80	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,520	1,510	1,970	...	...	...	...	...	...	0,085 (		
20/06/2012 16:45:59.970	276,10	341,10	398,70	135,00	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,510	1,900	...	...	...	...	...	...	0,085 (		
20/06/2012 16:47:59.986	275,40	337,80	406,80	141,60	50,000	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,510	1,890	...	...	...	...	...	...	0,085 (		
20/06/2012 16:49:59.955	289,20	332,40	395,10	122,40	50,020	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,520	1,510	1,990	...	...	...	...	...	...	0,085 (		
20/06/2012 16:51:59.926	283,50	340,50	416,70	144,00	50,020	1,390	1,390	1,390	...	1,490	1,510	1,510	1,910	...	...	...	...	...	...	0,084 (		
20/06/2012 16:53:59.902	273,00	342,00	426,60	157,50	50,010	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,500	1,840	...	...	...	...	...	...	0,084 (		
20/06/2012 16:55:59.866	267,00	336,00	427,20	162,60	50,020	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,500	1,840	...	...	...	...	...	...	0,084 (		
20/06/2012 16:58:00.017	264,30	328,80	432,60	171,30	50,020	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,500	1,820	...	...	...	...	...	...	0,084 (		
20/06/2012 16:59:59.982	260,70	337,20	421,50	162,90	50,020	1,390	1,390	1,390	...	1,500	1,510	1,500	1,800	...	...	...	...	...	...	0,084 (		
20/06/2012 17:01:59.958	261,90	335,10	418,50	158,10	50,010	1,390	1,390	1,390	...	1,510	1,510	1,510	1,820	...	...	...	...	...	...	0,182 (		

Prêt.

Page : 17 sur 22 Mots : 3 291 Portugal (Brésil)

16:16 01/12/2015



## Courant de fuite dans les générateurs solaire

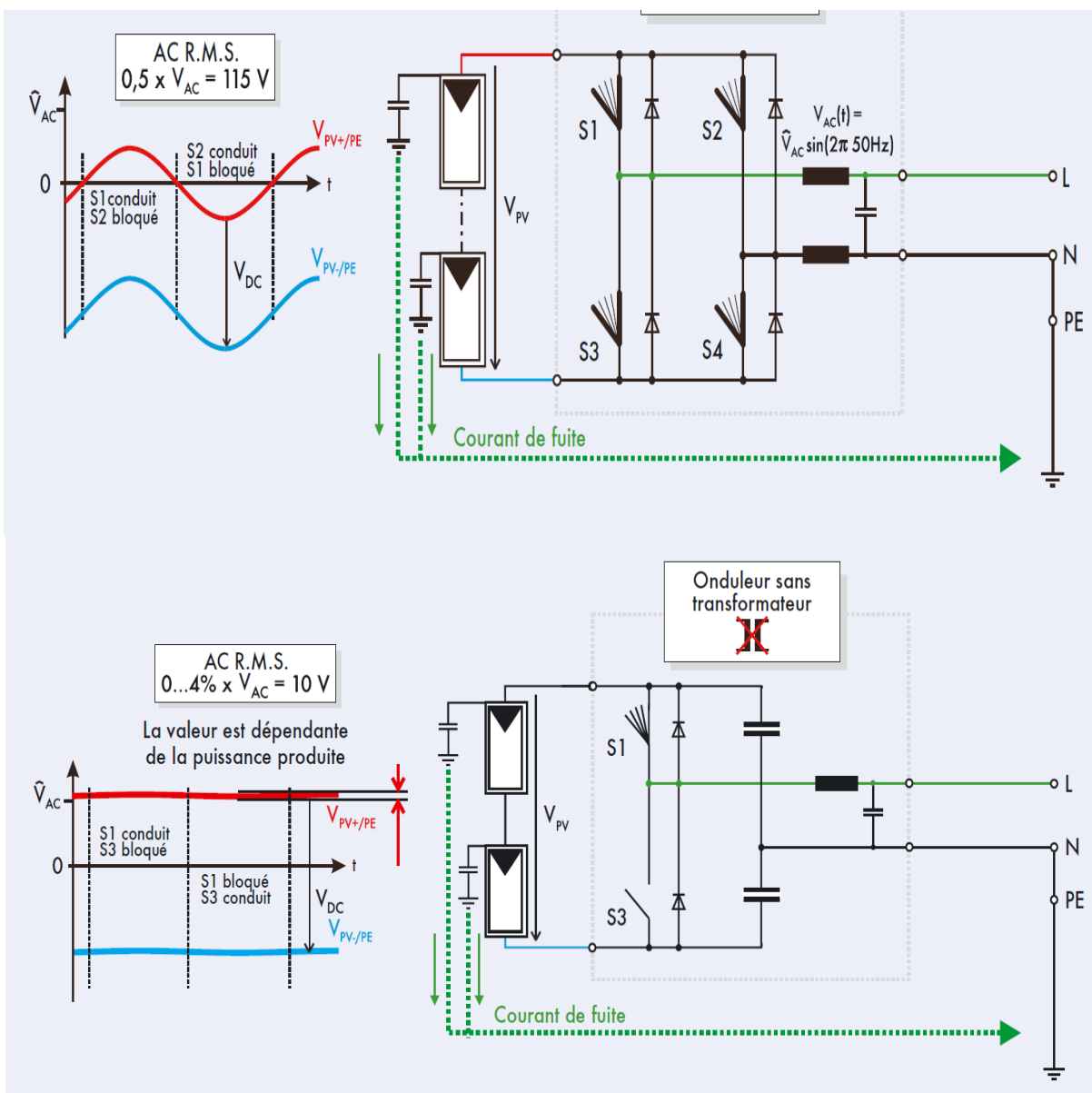
La tension photovoltaïque résultant du fonctionnement d'un onduleur subit les interférences d'une tension alternative synchrone au réseau au contact du panneau solaire, il se peut donc aussi qu'un courant de déplacement circule vers la terre autant que courant de fuite. Sur les panneaux protégés par isolation, ce courant est à peine perceptible. L'intensité du courant qui s'instaure augmente toute fois proportionnellement à la diminution de la distance à la cellule solaire et à la taille de la surface de contact. Pour écarter tout risque d'accident pouvant éventuellement en découler lors du couplage direct au réseau d'installation PV, il est nécessaire d'observer les précautions suivantes :

Raccordez à la terre le châssis du GPV et l'autre surface conductrice

Eteignez l'onduleur pendant les travaux de maintenance ou de nettoyage intervenant sur le GPV. Ces mesures de sécurité assurent une protection des personnes tout à fait suffisante.

Avant toute mise sous tension de l'onduleur, contrôler tout d'abord la résistance à l'isolation du GPV, ne procéder à la mise sous tension que si cette résistance dépasse une valeur minimale supérieure à 1Mohm.

Toutes les installations photovoltaïques doivent être équipées d'un dispositif différentiel pour assurer la protection contre les contacts indirect ,des essais permettront de quantifier ces courants selon le type d'onduleur et de déterminer les types de disjoncteurs différentiels les mieux adaptés



Nom du document : THESE DOCTORAT .docx  
Répertoire : C:\Users\mahfoudi.nacer\Documents  
Modèle : C:\Users\mahfoudi.nacer\AppData\Roaming\Microsoft\Templ  
es\Normal.dotm  
Titre :  
Sujet :  
Auteur : mahfoudi.nacer  
Mots clés :  
Commentaires :  
Date de création : 08/05/2014 16:40:00  
N° de révision : 90  
Dernier enregistr. le : 29/05/2016 12:33:00  
Dernier enregistrement par : mahfoudi.nacer  
Temps total d'édition :807 Minutes  
Dernière impression sur : 29/05/2016 12:35:00  
Tel qu'à la dernière impression  
Nombre de pages : 197  
Nombre de mots : 35 613 (approx.)  
Nombre de caractères : 195 876 (approx.)