

# Les pertes dans les central PV

## I-Introduction :

Le développement du marché photovoltaïque (PV) nécessite de connaître parfaitement la production électrique de ces systèmes sur différents sites en particulier pour estimer leur rentabilité économique. Cette estimation précise ne peut se faire qu'en prenant en compte les effets des pertes (ombrage , ohmiques , onduleur , temperature ) qui ont des conséquences dramatiques sur les performances électriques. Lors de l'installation d'un système PV, il arrive parfois que l'emplacement des modules PV soit imposé par le milieu. Dans ces conditions, on peut se retrouver dans des situations où des modules PV ou des parties de cellules soient perturber . Quand ce module est partiellement perturber , certaines de ses cellules peuvent devenir polarisées en inverse, fonctionnant comme des charges au lieu d'être génératrices. Cela produit des points de dégradation qui peuvent détériorer le module.

On va étudier les différentes perturbation et les pertes causé par ces dernière . Parmi les pertes dans les central PV on trouve :

## II- les pertes dues a l'ombrage

Malgré l'intérêt croissant pour améliorer les performances de systèmes PV, il n'y a que peu de travaux effectués sur le diagnostic des pannes. L'ombrage fait partie des causes de pannes des modules PV. La cellule peut devenir polarisée en inverse, fonctionnant comme une charge au lieu d'un générateur. Cela induit par conséquent une déformation globale de la caractéristique I-V, la réduction de la puissance de sortie du module et des risques d'échauffement puis de dégradations qui sont à redouter (hots spots). Les cellules PV des modules doivent par conséquent être protégées par des diodes by-pass . Il peut s'avérer qu'au niveau des diodes by-pass utilisées pour ces défauts d'ombrage, des problèmes de surchauffe ou de sous-dimensionnement des cellules peuvent apparaître.

Les installations PV dans un milieu urbain sont soumises à des phénomènes d'ombrage partiel ou temporaire, tels que ceux liés à une feuille d'arbre, à des déjections d'oiseaux, à la salissure (polluant émis par des activités humaines et atmosphériques)



Plusieurs études ont été réalisées sur l'effet d'ombrage sur les performances des modules PV. La première étude sur l'impact de la poussière sur les systèmes solaires réalisée entre le 9 mai et le 1er juillet 1940 dans une zone industrielle aux Etats-Unis a montré une dégradation maximale des performances de 4,7%, avec une perte moyenne de rayonnement solaire incident inférieure à 1%.

Une autre étude a montré que plusieurs mois de fonctionnement d'un module PV sans nettoyage induit une perte de puissance de 40% à Chicago et 12% à New York causée



par l'effet de la salissure. La perte moyenne annuelle de puissance d'un module PV varie de 1% à 4%. Dans les zones où les pluies sont fréquentes, il a été montré que la pluie pouvait nettoyer les modules PV à un point de restauration de la performance à 1% de perte sur la pleine puissance.

## II.1. L'effet d'un ombrage partiel (études expérimentales)

Afin d'illustrer l'influence de l'ombrage sur le comportement d'un module PV, trois études expérimentales ont été conduites sur un ensemble de modules PV sous différentes conditions d'ombrage dans différents milieux d'implantation.

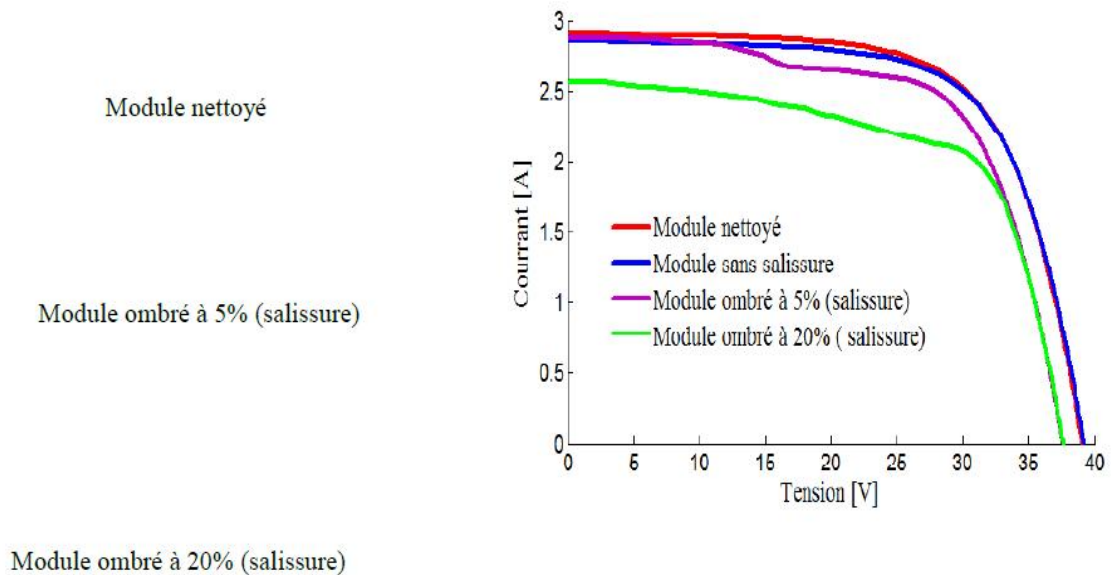
### a-Ombrage partiel du module PV en milieu urbain :

Pour mieux comprendre l'impact de l'ombrage sur la performance des modules PV, on caractérise le comportement d'un module PV en se plaçant dans différentes situations d'ombrage :

- ombrage par les salissures
- ombrage par la présence d'un arbre à proximité
- ombrage par une construction au voisinage.

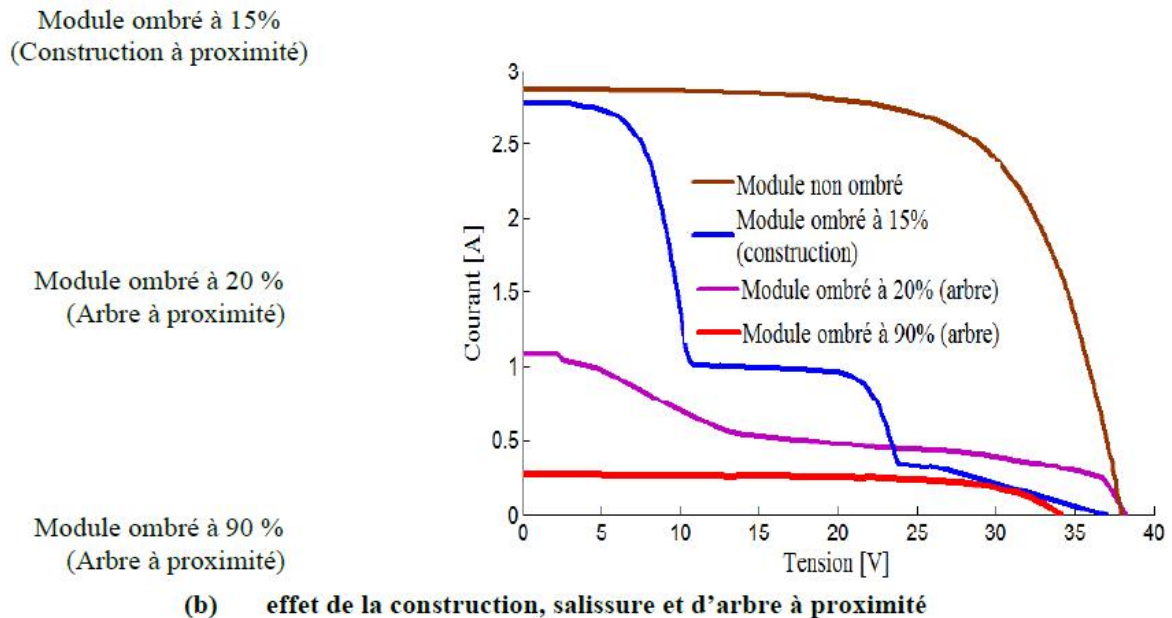
Voici les courbes qui représentent les différentes situations d'ombrage et de salissure :

### a-ombrage par les salissures :



(a) effet de la salissure

## b-ombrage par la présence d'un arbre à proximité :



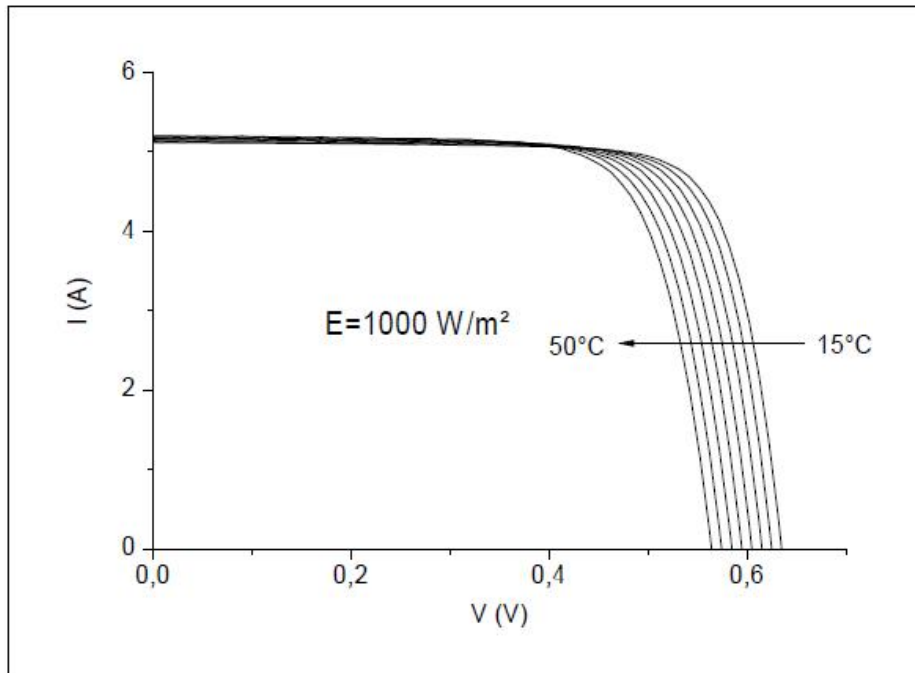
## II- les pertes dues à la température

La conversion photovoltaïque est une application énergétique fortement dépendante de la température. Dans les applications terrestres, les cellules solaires sont généralement exposées aux températures du fonctionnement variant de 10 à 50 °C. Les paramètres caractéristiques des cellules solaires, à savoir le courant de court circuit ( $I_{cc}$ ), la tension en circuit ouvert ( $V_{co}$ ), le facteur de forme ( $FF$ ) et le rendement de conversion PV ( $\eta$ ) sont influencés par la température. La dépendance de ces paramètres avec la température est étudiée pour une cellule solaire au silicium polycristallin dans la gamme (15-50°C) sous un éclairement constant (1000 W/m<sup>2</sup>).

a- Effet de la température sur la caractéristique  $I(V)$  d'une cellule solaire éclairée :

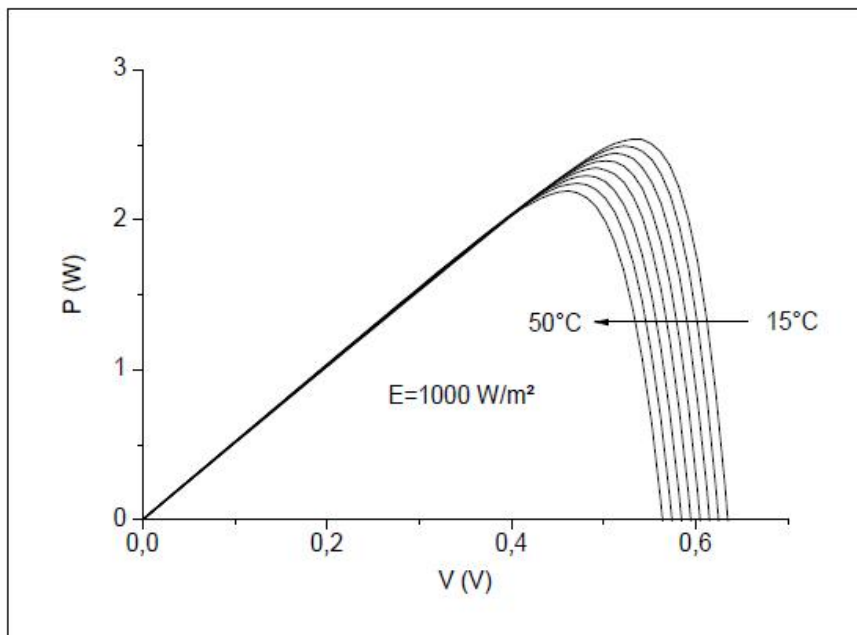
La figure (II.1) montre des caractéristiques ( $I-V$ ) mesurées à différentes températures

sous un éclairage constant ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) pour une cellule solaire au silicium poly-cristallin de  $(12,5 \times 12,5) \text{ cm}^2$  de surface; faites au département de physique «université de *Constance*» en *Allemagne*.



**Figure II.1:** Influence de la température sur la caractéristique ( $I-V$ ) d'une cellule solaire au silicium poly-cristallin sous un éclairage de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

La figure (II.2) montre des courbes ( $P-V$ ) du même dispositif, sous les mêmes conditions.



**Figure II.2:** Influence de la température sur la puissance de sortie pour une cellule solaire au silicium poly cristallin sous un éclairage de  $1000 \text{ W/m}^2$ .



Le tableau (II. 1) montre l'évolution avec la température de la tension en circuit ouvert ( $V_{co}$ ), le courant de court circuit ( $I_{cc}$ ), la puissance maximale extraite de la cellule ( $P_m$ ), le facteur de forme ( $FF$ ) et le rendement de la conversion photovoltaïque ( $\eta$ ).

$T$ ( $^{\circ}C$ )	15	20	25	30	35	40	45	50
$V_{co}$ (V)	0.6380	0.6277	0.6172	0.6065	0.5964	0.5857	0.5751	0.5645
$I_{cc}$ (A)	5.1261	5.1367	5.1470	5.1582	5.1685	5.1791	5.1899	5.1997
$P_m$ (W)	2.5396	2.4929	2.4454	2.3933	2.3483	2.2953	2.2445	2.1942
$FF$	0.778	0.775	0.771	0.765	0.762	0.757	0.752	0.747
$\eta$ (%)	16.25	15.95	15.65	15.32	15.03	14.69	14.36	14.04

**Tableau II. 1:** Evolution avec la température de ( $V_{co}$ ), ( $I_{cc}$ ), ( $P_m$ ), ( $FF$ ) et ( $\eta$ ).

On remarque une diminution de la puissance maximale avec l'augmentation de la température avec une variation relative de (-0.39 % / K).

### III- les pertes dues au câblage :



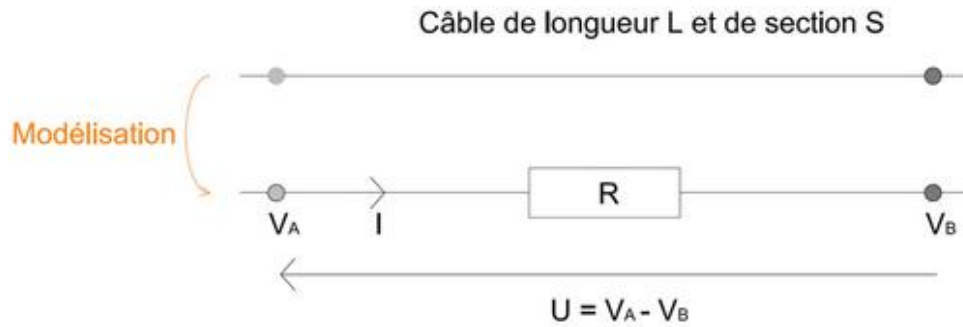
#### -Pertes par échauffement des câbles

L'électricité produite par les modules photovoltaïques doit être transportée jusqu'au point de distribution. Ce transport s'effectue, par l'intermédiaire de câbles, avec des pertes d'énergie.



#### Chute de tension régulière

En théorie, un câble est un conducteur de courant parfait, c'est-à-dire que sa résistance est nulle. En pratique, un câble n'est pas un conducteur parfait: il se comporte comme une résistance.



La résistance d'un câble de cuivre est très faible, mais n'est pas nulle. Celle-ci est proportionnelle à la longueur du câble et inversement proportionnelle à la section du câble. On a l'expression suivante :  $R = \rho \times L / S$ . Dans cette formule, L est la longueur du câble (en mètre), S est la section du câble (en  $m^2$ ) et  $\rho$  est la résistivité du conducteur. La résistivité du conducteur est une donnée du fabricant et dépend du matériau :

- $\rho = 1.851 \times 10^{-8} \Omega m$  pour un conducteur en cuivre
- $\rho = 2.941 \times 10^{-8} \Omega m$  pour un conducteur en aluminium

Il est de coutume d'exprimer la résistivité d'un conducteur en  $\Omega \cdot mm^2 / m$ . Cette unité permet, lors du calcul des sections de câbles, d'exprimer les longueurs directement en mètre et les sections en  $mm^2$ .

- $\rho = 0.01851 \Omega \cdot mm^2 / m$  pour un conducteur en cuivre
- $\rho = 0.02941 \Omega \cdot mm^2 / m$  pour un conducteur en aluminium

Chute de tension singulière : Les chutes de tension singulières sont dues à la présence de contacts électriques. Ces contacts proviennent typiquement des dispositifs tels que les connecteurs inter-modules, le sectionneurs, les interrupteurs, etc. Un contact électrique est caractérisé par une résistance électrique de contact, induisant un abaissement de la tension. Il convient d'utiliser des dispositifs de connexion sûrs et minimisant la résistance de contact.

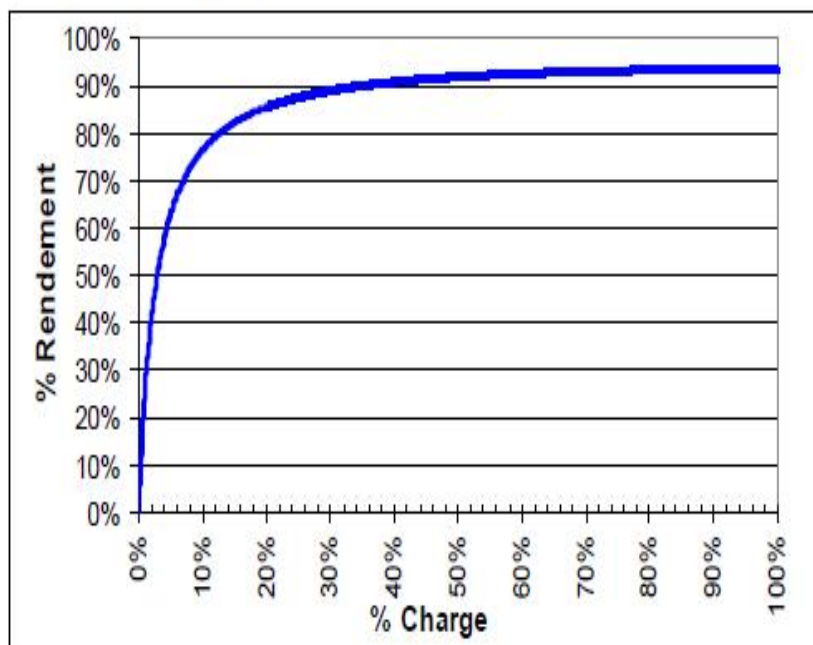
Par ailleurs, lors des travaux, il est important de s'assurer que les contacts ont été correctement effectués. Un contact de mauvaise qualité augmente la résistance de contact, provoque une surchauffe du contact et est susceptible de produire un arc électrique.



## IV-Onduleur photovoltaïque et pertes

### Courbe d'efficacité des onduleurs :

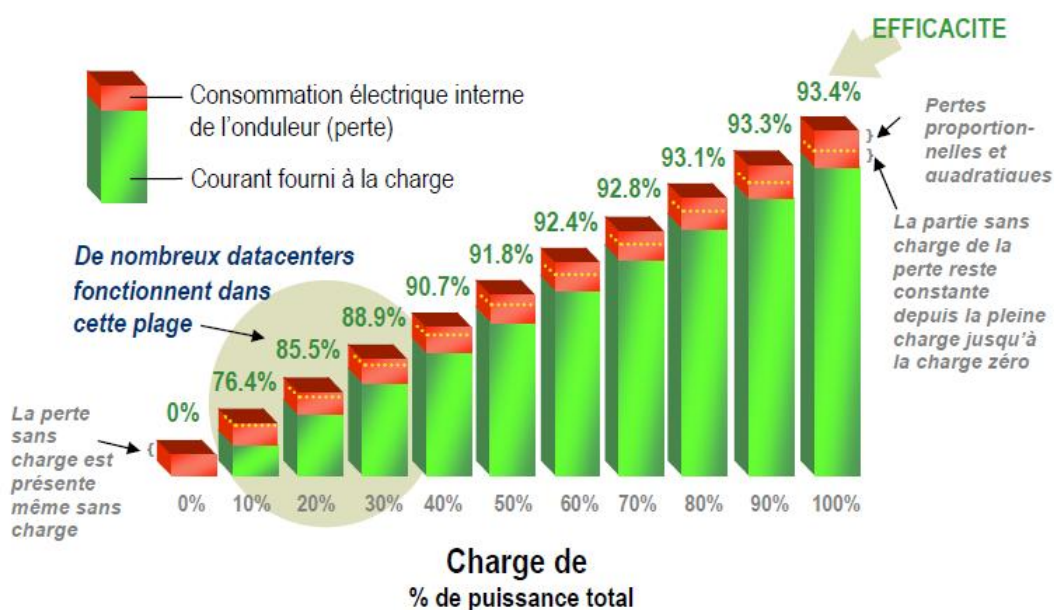
Figure 1 – Courbe d'efficacité d'un onduleur



La Figure 2 aide à mieux comprendre la courbe d'efficacité de la Figure 1 en indiquant où va la puissance.



Figure 2 – Répartition de la puissance d'entrée totale de l'onduleur, indiquant où va cette puissance



Dans ce schéma, les barres vertes représentent toute la puissance allant aux charges, tandis que les barres rouges correspondent à des pertes internes dans les onduleurs qui définissent la courbe d'efficacité de la **Figure 1**. Si un onduleur jouissait d'une efficacité parfaite, toute la puissance

fournie à l'onduleur serait transmise aux charges du datacenter et les barres seraient entièrement vertes (pas de pertes) pour tous les niveaux de charge. Dans ce cas, la « courbe » d'efficacité prendrait la forme d'une ligne horizontale (100 % pour toutes les charges). Cependant, comme l'indiquent les barres rouges, une partie de la puissance d'entrée est utilisée directement par l'onduleur. Il existe trois types de pertes liées aux onduleurs : les pertes « sans charge », les pertes « proportionnelles » et les pertes « quadratiques ».

### Pertes sans charge :

À une charge de 0 %, toute la puissance d'entrée est utilisée par l'onduleur, d'où le nom de pertes « sans charge ». Ces pertes peuvent aussi prendre d'autres noms : perte de marche à vide, constante, fixe, parallèle et perditance. Ces pertes sont indépendantes de la charge et sont attribuées à l'alimentation d'éléments tels que les transformateurs, condensateurs, cartes logiques et cartes de communication. Les pertes sans charge peuvent représenter plus de 40 % de toutes les pertes liées aux onduleurs et sont de loin la plus grande opportunité d'améliorer l'efficacité des onduleurs. Ce point est discuté plus en détail dans l'annexe.

### Pertes proportionnelles :

À mesure qu'une charge plus élevée est ajoutée à un onduleur, une plus grande quantité de puissance doit être « traitée » par différents composants dans la trajectoire d'alimentation. Par exemple, les pertes de commutation des transistors et les pertes de résistance des condensateurs et inducteurs viennent s'ajouter aux pertes proportionnelles.

### Pertes quadratiques :

À mesure que la charge appliquée à l'onduleur continue d'augmenter, le courant électrique passant par ses composants augmente. Cela entraîne des pertes dans l'onduleur proportionnelles au carré du courant, parfois appelées « I-R carré ». Les pertes de puissance dissipées sous la forme de chaleur sont proportionnelles au carré du courant. Les pertes quadratiques deviennent significatives (1-4 %) aux charges plus élevées des onduleurs. En comparant les efficacités de plusieurs onduleurs, on ne fait qu'évaluer leurs pertes (barres rouges dans la **Figure 2**). Une courbe d'efficacité en soi peut en dire beaucoup sur un onduleur en quantifiant ses pertes proportionnelles, sans charge et quadratiques à tous les niveaux de charge. Le tracé d'une courbe de ces trois types de pertes en rapport avec le pourcentage de charge de l'onduleur produira un graphique de perte semblable à celui de la **Figure 3**. Remarquez comment les pertes sans charge restent constantes sur tout le spectre alors que la perte proportionnelle augmente à mesure que d'autres équipements informatiques sont connectés à l'onduleur.

Figure 3 – Graphique des pertes de puissance

