



HAL
open science

STRATEGIE DE MAINTENANCE OPTIMALE D'UNE STATION DE PANNEAUX SOLAIRES SUR UN HORIZON DE TEMPS FINI

Safouane Elkouiri, Lahcen Mifdal, Sofiene Dellagi, Anis Chelbi

► **To cite this version:**

Safouane Elkouiri, Lahcen Mifdal, Sofiene Dellagi, Anis Chelbi. STRATEGIE DE MAINTENANCE OPTIMALE D'UNE STATION DE PANNEAUX SOLAIRES SUR UN HORIZON DE TEMPS FINI. 13ème CONFERENCE INTERNATIONALE DE MODELISATION, OPTIMISATION ET SIMULATION (MOSIM2020), 12-14 Nov 2020, AGADIR, Maroc, Nov 2020, AGADIR (virtual), Maroc. hal-03192794

HAL Id: hal-03192794

<https://hal.science/hal-03192794>

Submitted on 8 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

STRATEGIE DE MAINTENANCE OPTIMALE D'UNE STATION DE PANNEAUX SOLAIRES SUR UN HORIZON DE TEMPS FINI

SAFOUANE ELKOURI, LAHCEN MIFDAL

Laboratoire d'Innovation Durable et de Recherche
Appliquée (LIDRA)
Ecole Polytechnique d'Agadir – Universiapolis
Agadir, Maroc
safouane.elkouri@e-polytechnique.ma
mifdal@e-polytechnique.ma

SOFIENE DELLAGI

Laboratoire de génie industriel et de production
mécanique (LGIPM)
Université de Lorraine Metz, France
sofiene.dellagi@univ-lorraine.fr

ANIS CHELBI

Université de Tunis, Ecole nationale supérieure des
ingénieurs de Tunis. CEREP, Tunis, Tunisie
anis.chelbi@planet.tn

RESUME : *L'objectif de ce présent article est de développer une stratégie de maintenance préventive pour un groupe de panneaux solaires interconnectés en série. L'approche consiste à déterminer le nombre optimal de panneaux solaires à remplacer, ainsi que les périodes de remplacement optimales afin de minimiser le coût total de maintenance, et ce, sur un horizon de temps fini. En outre, nous considérons que le remplacement des panneaux solaires améliore la fiabilité du système. En cas de panne, une réparation minimale est effectuée. Cette intervention n'a aucune incidence sur la fiabilité des panneaux solaires. Un exemple numérique est présenté pour illustrer la contribution de l'approche de modélisation proposée et pour discuter les différents résultats obtenus.*

MOTS-CLES : *Stratégie de maintenance, Fiabilité, Remplacement, Réparation minimale, Maintenance préventive, Panneaux solaires.*

1 INTRODUCTION

Ces dernières années, les sujets liés à la réparation et au remplacement des pièces défectueuses ont été étudiés en détail dans la littérature. Le terme de maintenance est devenu une fonction de plus en plus importante dans les entreprises et la recherche scientifique. La plupart de ces études visent à développer des stratégies de maintenance optimales pour améliorer la fiabilité et réduire le coût des réparations et de maintenance préventive. Dans cette perspective, on peut dire que la maintenance ne se limite pas aux actions ordinaires en cas de défaillance, mais doit aider l'entreprise à améliorer la disponibilité du système, à réduire la fréquence des défaillances, à minimiser les coûts de maintenance et les pertes causées par les défaillances. De nombreuses politiques de maintenance ont été proposées dans les ouvrages scientifiques depuis plusieurs décennies, les modèles associés à ces politiques sont basés sur la représentation du moment de l'apparition d'une défaillance.

On distingue deux politiques majeurs de maintenance : politique de type bloc initié par Nakagawa [1] et la politique de type âge développé par Barlow & Proschan [2].

Pour la politique de type bloc, l'élément est remplacé par un autre nouveau, avec une périodicité fixe. Cette action de réparation n'entraîne aucune modification du plan préventif mis en œuvre. L'objectif de cette politique c'est de calculer le nombre optimal d'actions de maintenance préventive (n^*), ainsi que la durée optimale entre deux actions (T^*) afin de minimiser les coûts de maintenance corrective et préventive. Après quelques années, Nakagawa [3] a présenté des modifications qui prennent en compte deux paramètres T_0 (temps de référence) et T^* (durée périodique). L'avantage de cette politique est qu'elle est plus facile à gérer, mais avec un inconvénient, elle présente le risque de remplacer des systèmes presque neufs. Une étude approfondie développée par Barlow et Hunter [4] consiste à remplacer l'élément souhaité à une périodicité fixe avec une réparation minimale.

De l'autre côté, nous avons la politique de type âge qui se caractérise par des tailles variées pour les intervalles de temps entre deux actions de maintenance préventive consécutives, l'utilisation de cette politique séquentielle envisage le remplacement de l'élément par un autre neuf soit après l'apparition d'une panne, soit après une période de temps spécifique. Plusieurs études ont été développées par Nakagawa et al [5], et après un an par Ben-Daya et al [6] reposant sur cette politique de maintenance de type âge, en particulier après l'apparition

d'actions de maintenance avec réparation minimale "As Bad As Old" initiées par Barlow et Proschan [2] et de maintenance imparfaite présentée et développée par Wang et Pham [7], par exemple une action de maintenance préventive avec remplacement et une action de maintenance corrective avec réparation minimale ou imparfaite. Park et Pham [8] ont proposé un modèle de coût pour les politiques de remplacement en fonction de l'âge et les politiques de remplacement en bloc sous garantie.

La politique suivante suggère une maintenance préventive avec remplacement si seulement si le taux de défaillance a atteint une limite prédéterminée, il existe plusieurs travaux qui traitent la politique de taux de défaillance limite tels que Canfield [9].

En ce qui concerne Gardent et Nonant [10], ont proposé une politique de maintenance basée sur un coût de maintenance limité, cette politique est caractérisée par un coût de réparation estimé, la réparation est effectuée si seulement si le coût estimé est inférieur à une limite prédéterminée, sinon, l'élément défectueux est remplacé.

Au cours des dernières décennies, les énergies renouvelables ont commencé à jouer un rôle important dans la production d'électricité et de chaleur. Les ressources fossiles ne constituent pas une option durable pour l'avenir, car il s'agit de sources d'énergie non renouvelables qui contribuent à la pollution de l'environnement et au changement climatique.

Parmi les sources de production d'énergie renouvelable les plus utilisées figurent l'énergie solaire (panneau solaire photovoltaïque et panneau solaire thermique). Les plus grandes avancées dans le domaine des panneaux solaires ont concerné l'amélioration de la conception des systèmes solaires et l'optimisation de leur fonctionnement et de leur maintenance. Plusieurs études tentent de développer des solutions intégrant le développement durable dans les systèmes solaires, l'une de ces études est réalisée par Qiongjie Dai et al [11] qui présente un système intégré pour améliorer le taux d'utilisation des ressources d'énergie solaire et pour développer une efficacité urbaine durable. Les panneaux solaires photovoltaïques sont généralement à base de silicium et sont utilisés pour convertir le rayonnement solaire en électricité. Les panneaux photovoltaïques les plus populaires sont le silicium monocristallin, le silicium poly-cristallin et le silicium en couche mince appelé silicium amorphe (A-Si).

Concernant l'interconnexion des panneaux photovoltaïques, les schémas largement utilisés dans la littérature sont développés par Lavado Villa et al [12]. Ils sont divisés en 4 types de configuration : Parallèle/série (SP), Total Cross Tied (TCT), Honey comb (HC) et Bridge Link (BL).

Les questions liées à la maintenance des systèmes solaires font l'objet d'une attention croissante, comme le prouvent les études et les efforts réalisés par diverses institutions et entreprises pour réduire les coûts de production des systèmes solaires et, en particulier, pour optimiser les coûts de maintenance. Les défaillances survenues dans les panneaux photovoltaïques nous amènent à une réduction de leur efficacité, de leur durabilité et de leur fiabilité. Le diagnostic des performances a été fait par des tests électriques sur chaque panneau, il existe également des études sur l'inspection thermographique dans la littérature. Le progrès technologique permet l'existence de diagnostics non destructifs et même sans contact. Tsanakas et al [13] ont résumé les défaillances des panneaux solaires en trois groupes : dégradation optique, insuffisance électrique et défauts non classés. Une des causes de l'augmentation du taux de dégradation d'un panneau solaire est l'accumulation de saleté et de poussière qui disperse le rayonnement solaire sur le module photovoltaïque. Saidan et al [14] ont étudié l'impact de l'accumulation de poussière sur les modules photovoltaïques, les résultats expérimentaux montrent que la poussière réduit les émissions en fonction de la période d'exposition. La recommandation est de procéder à des opérations de nettoyage pour minimiser l'impact sur la production d'énergie et ainsi maintenir la même puissance sans variations tout au long de la vie des panneaux solaires. Cagnano et De Tuglie [15] proposent un contrôleur décentralisé pour coordonner les injections de puissance réactive des générateurs photovoltaïques afin de contribuer à la régulation de la tension dans les réseaux de distribution, où les actions de contrôle sont évaluées en temps réel en adoptant une méthodologie d'optimisation. D'autres auteurs tels que Jung et al [16] proposent un contrôle configurable, hiérarchique, basé sur un modèle, de l'ordonnement des dispositifs de contrôle automatisés des générateurs photovoltaïques. Les auteurs comme Torrent-Fontbona et López [17] ont développé une nouvelle planification basée sur la détermination conjointe du nombre de nouveaux panneaux solaires nécessaires, de leur type, de leur emplacement et de leur taille, afin de maximiser l'efficacité de l'installation, de minimiser les pertes du système et d'améliorer les performances de l'installation. On peut citer aussi le travail de Wang et al [18] qui présentent une technique de diagnostic pour localiser les défauts dans les panneaux photovoltaïques, la technique proposée utilise la méthode des données échantillonnées pour estimer les paramètres intrinsèques du panneau.

Ce papier est organisé comme suit : Dans la section suivante, nous précisons la description du problème. Ensuite, les hypothèses de travail et l'élaboration du modèle analytique est décrite dans la section 3. Un exemple numérique est présenté dans la section 4 pour illustrer l'approche de modélisation proposée avec une étude de sensibilité dans la section 5. Enfin, les conclusions et les travaux futurs potentiels sont présentés dans la section 6.

2 DESCRIPTION DU PROBLEME

Dans cette étude, nous allons développer une stratégie optimale de maintenance préventive appliquée à un système de production électrique composé de plusieurs panneaux solaires en série. L'objectif de cette étude est de déterminer le nombre optimal de panneaux à changer ainsi que la périodicité optimale correspondant au nombre de panneaux à changer afin de minimiser le coût total de maintenance.

Plus exactement, la stratégie de maintenance adoptée consiste à remplacer systématiquement un certain nombre de panneaux à partir du nombre total de N panneaux du système à chaque unité de temps T . Les n panneaux remplacés sont différents à chaque fois. Les pannes que le groupe des panneaux peut subir sont généralement des dysfonctionnements, des ruptures de câble ou une mauvaise alimentation électrique. Des actions de maintenance corrective sont effectués sous forme des réparations minimales, ces opérations ne changent pas l'évolution des taux de défaillance. En revanche, les actions de maintenance préventive améliorent le taux de défaillance du système par rapport au nombre de nouveaux panneaux injectés.

(Voir le modèle analytique dans la section 4 ci-dessous).

Nous assistons donc à une stratégie de maintenance préventive de type bloc avec réparation minimale.

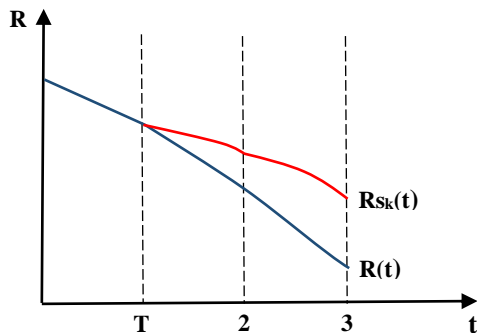


Figure 1 : Evolution de la fiabilité du système étudié

La figure 1 nous permet d'observer l'impact de maintenance sur la fiabilité. La maintenance n'a aucun effet sur la fiabilité du système entre $[0, T]$.

À tout moment T , la fiabilité du système $R_{s_k}(t)$ s'améliore (temps de remplacement) par opposition à un système avec $R(t)$ en l'absence d'une stratégie de maintenance préventive.

3 ETUDE ANALYTIQUE

3.1 Hypothèses

Pour développer notre modèle d'optimisation, les hypothèses ci-dessous sont prises en considération :

- Tous les panneaux sont identiques.
- Le système est constitué de (N) panneaux qui fonctionnent en série (structure du système en série).
- Le coût de remplacement préventif d'un panneau et le coût d'une réparation minimale sont connus et constants.
- Les durées des actions de maintenance préventive et de réparation sont négligeables.

3.2 Notations

Données

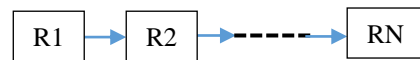
n	: Nombre de panneaux à remplacer à chaque période T
N	: Nombre total des panneaux
H	: Horizon de planification (ut)
MC	: Coût d'une action de réparation minimale du système (um)
CP	: Coût de remplacement préventif d'un panneau (um)
CE	: Coût fixe encouru à chaque action de remplacement préventif (um)
CTM	: Coût total de maintenance (um)
$R_s(t)$: Fonction de Fiabilité du système
$\lambda_s(t)$: Fonction du Taux de défaillance du système
$Ent_{inf}[x]$: Partie entière inférieure de x
$Ent_{sup}[x]$: Partie entière supérieure de x

Variable de décision

- T : Périodicité de remplacement préventif des panneaux solaires (ut)
- n : Nombre de panneaux à changer à chaque remplacement préventif

3.3 Mise en équation

Dans notre démarche, nous allons déterminer le modèle analytique qui sera utilisé pour minimiser le coût total de maintenance dans le cas où les panneaux sont installés en série (voir figure 2).



Nous rappelons que la fiabilité d'un groupement interconnecté en série est définie par :

$$R_{sys} = \prod R_i(t) \quad (1)$$

La stratégie de maintenance préventive qui sera développée dans ce chapitre consiste à déterminer à la fois le nombre optimal de panneaux à remplacer (n^*) ainsi que la période optimale de remplacement (T^*) .

Dans cette étude nous avons pu établir un modèle analytique avec un Changement de (m) panneaux à la fin de chaque cycle.

3.3.1 Modèle analytique

Dans ce modèle, on définit un cycle comme étant la durée après laquelle les “N” panneaux auront été remplacés préventivement (n panneaux à chaque période T). La longueur d'un cycle est donnée comme suit :

$\left(Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right] \times T \right)$ Ainsi, sur l'horizon H , le nombre des

cycles est égal à : $\left(Ent_{inf} \left[\frac{H}{Ent_{inf} \left[\frac{N}{n} \right] \times T} \right] \right)$ cycles.

Pour que le cycle finit par le changement de tous les N panneaux, le nombre de panneaux à remplacer à la fin du cycle de ce modèle est défini par :

$$m = n - \left(N - \left(Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right] - 1 \right) \times n \right) \quad (2)$$

En général, on ne finira pas forcément pile sur l'horizon

fini H . Ceci parce que le ratio $\left(\frac{H}{Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right] \times T} \right)$ n'est

pas forcément un entier. Il faut donc intégrer un cycle complémentaire D_{cycle} , qui est défini comme suit :

$$D_{cycle} = H - \left(Ent_{inf} \left[\frac{H}{Ent_{inf} \left[\frac{N}{n} \right] \times T} \right] \right) \times Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right] \times T$$

Si seulement si :

$$Ent_{inf} \left[\frac{H}{Ent_{inf} \left[\frac{N}{n} \right] \times T} \right] \neq \left\lfloor \frac{H}{Ent_{inf} \left[\frac{N}{n} \right] \times T} \right\rfloor$$

Sinon $D_{cycle} = 0$.

La figure ci-dessous illustre la politique qui est adoptée pour ce premier modèle.

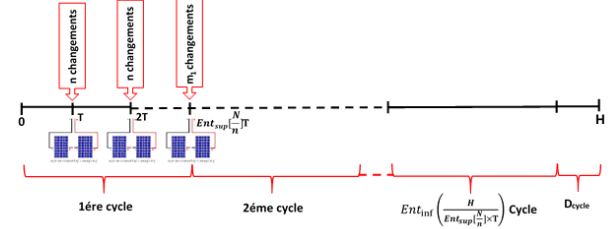


Figure 2 : Politique de changement du modèle analytique

Il faut préciser que pour ce modèle, le nombre de période

par cycle est défini par l'équation suivant : $Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right]$

• L'expression de la fonction de fiabilité du système

Prenons par exemple “k” indice des périodes par cycle ($k=0, \dots, 3$), “N” le nombre des panneaux ($N=5$) et qu'à chaque MP, on remplace n panneaux différents ($n=2$).

Sauf à la dernière date $\left(Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right] \times T \right)$, on remplace

m panneaux restant ($m=1$) dans ce cas. Donc La fonction de fiabilité du système pour chaque période peut être écrite ainsi :

$$k=0 \ [0, T] \quad : \quad R_{s_0}(t) = R(t)^5$$

$$k=1, n=2 \ [T, 2T] \quad : \quad R_{s_1}(t) = R(t-T)^2 \times R(t)^3$$

$$k=2, n=2 \ [2T, 3T] \quad : \quad R_{s_2}(t) = R(t-T)^2 \times R(t-2T)^2 \times R(t)^1$$

$$k = Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right] = 3, m=1 \ [3T, 4T] \quad : \quad$$

$$R_{s_3}(t) = R(t-T)^2 \times R(t-2T)^2 \times R(t-3T)^1$$

Donc, d'une façon générale, la fiabilité du système s'écrit sous la forme :

$$R_{s_k}(t) = \prod_{k=0}^{Ent_{sup} \left[\frac{N}{n} \right]} R_i(t - kT)^{\left(n - (N - (k-1) \times n) \times \left(Ent_{inf} \left[\frac{H}{Ent_{inf} \left[\frac{N}{n} \right] \times T} \right] + 1 \right) \right)} \times Min[k, 1] \times R(t)^{Max[N - k \times n, 0]}$$

(3)

• La fonction du Taux de défaillance du système

Nous rappelons que la fonction du taux de défaillance s'écrit comme suit :

$$\lambda_{S_k}(t) = \frac{-\frac{d(Rs_k(t))}{dt}}{Rs_k(t)} \quad (4)$$

• Le coût total de maintenance CTM

Rappelons que “k” indice des périodes par cycle (k=0,...,3), le nombre des panneaux (N=5), et qu’à chaque MP, on remplace (n=2) panneaux différents, sauf la dernière date $\left(Ent_{sup}\left[\frac{N}{n}\right] \times T\right)$, on remplace m panneaux restant (m = 1) dans ce cas. Donc le coût de maintenance pour chaque intervalle est donné sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} k=0 \ [0, T] & : C_0(t) = Mc \times \int_0^T \lambda_{S_0}(t) dt \\ k=1, n=2 \ [T, 2T] & : C_1(t) = Mc \times \int_T^{2T} \lambda_{S_1}(t) dt + (2CP + CE) \\ k=2, n=2 \ [2T, 3T] & : C_2(t) = Mc \times \int_{2T}^{3T} \lambda_{S_2}(t) dt + (2CP + CE) \\ k = Ent_{sup}\left[\frac{N}{n}\right] = 3, m=1 \ [3T, 4T] & : \\ C_3(t) & = Mc \times \int_{3T}^{4T} \lambda_{S_3}(t) dt + (2CP + CE) \end{aligned}$$

Nous pouvons donc exprimer le coût $C_k(t)$ dans un intervalle allant de kT à (k+1)*T comme suit :

$$\begin{aligned} C_k(t) & = Mc \times \int_{k \times T}^{(k+1)T} \lambda_{S_k}(t) dt + (n - (N - (k - 1) \times n) \\ & \times \left(Ent_{inf}\left[\frac{k}{Ent_{inf}\left[\frac{N}{n}\right] + 1}\right] \times Min[k,1] \times CP + CE \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Nous pouvons alors exprimer le coût total de maintenance sur tout l’horizon du temps fini H, sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} CTM(t) & = \left(Ent_{inf}\left[\frac{H}{Ent_{sup}\left[\frac{N}{n}\right] \times T}\right] \times \left(\sum_{k=0}^{Ent_{sup}\left[\frac{N}{n}\right]} C_k(t) \right) \right) \\ & + \sum_{k=1}^{Ent_{inf}\left[\frac{Dcycle}{T}\right]} C_k(t) + Mc \times \int_{Ent_{inf}\left[\frac{Dcycle}{T}\right] \times T}^{\left[\frac{Dcycle}{T}\right] T} \lambda_{S_{Ent_{inf}\left[\frac{Dcycle}{T}\right]}}(t) dt \end{aligned} \quad (6)$$

4 ETUDE NUMERIQUE

4.1 Données numériques

Dans ce paragraphe, une étude numérique sera utilisée pour illustrer le scénario proposé dans la première partie. Le logiciel MATHEMATICA® a été utilisé pour déterminer le temps optimal (T*) et le nombre optimal de remplacement (n*) avec un coût de maintenance minimal.

N	: 10
R(t)	: $e^{-\frac{1}{7}t}$
H (ut)	: 70
Mc (um)	: 2000
CP (um)	: 400
CE (um)	: 150

Tableau 1 : Données numériques

4.2 Résultat numérique

Les résultats de cette étude sont exprimés suivant un tableau résumant les valeurs nécessaires pour mieux comprendre le comportement de notre stratégie.

4.2.1 Résultat du modèle analytique

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus en utilisant le premier modèle.

N=10					
Nb de panneaux changés	Nb de MP	Coût de réparation Mc (um)	Coût du MP	CTM (um)	T*
1	17	1,209.10 ⁶	9500	1,218.10 ⁶	4
2	7	709 714	6800	716 514	9
3	7	586 287	9200	595 487	9
4	5	493 714	8100	501 814	12
5	3	437 143	6600	443 743	18
6	3	390 857	6200	397 057	18
7	3	421 714	7800	429 514	18
8	3	452 572	9400	461 972	18
9	3	483 486	11 000	494 486	18
10	2	549 571	8600	558 171	24

Tableau 2 : Résultats numériques obtenus selon le modèle analytique

D’après le tableau 2, nous pouvons constater que la solution optimale pour notre modèle est ((n=6) qui consiste à changer **6 panneaux** à chaque date **T*=18mois** sauf qu’à la date finale du changement (m=4), c’est-à-dire changer 4 panneaux.

La figure ci-dessous décrit l'évolution du coût total de maintenance en fonction du nombre des panneaux à changer à chaque maintenance préventive.

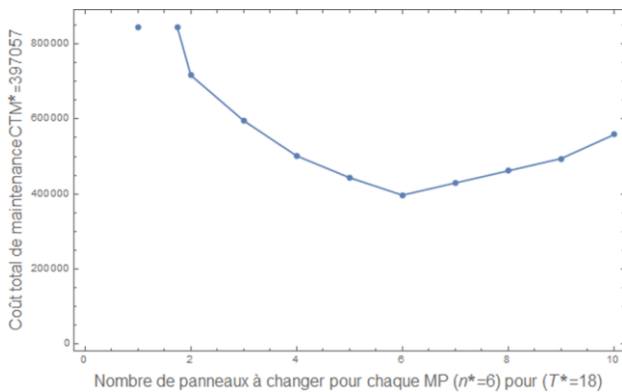


Figure 3 : CTM en fonction de nombre de panneaux à changer

Nous constatons que le nombre optimal de panneaux à changer pour chaque intervention préventive est égale à six ($n=6$), pour une périodicité optimale de remplacement qui est égale à dix-huit mois ($T=18$) avec un coût total de maintenance minimale CTM=397 057 um.

5 ETUDE DE SENSIBILITE

5.1 Etude de sensibilité basée sur la variation du Coût de remplacement CP

La première étude de sensibilité se base sur la variation du coût de maintenance préventive pour illustrer son effet sur le comportement de la périodicité optimale de remplacement T^* .

Le tableau suivant illustre les résultats de cette étude.

N=10, N=4				
CP (Um)	CE (Um)	MC (Um)	CTM (Um)	T* (mois)
200	150	2000	498 214	12
400	150	2000	501 814	12
1000	150	2000	512 614	12
5000	150	2000	584 614	12
10 000	150	2000	663 607	15
12 000	150	2000	691 607	15
15 000	150	2000	727 600	18
20 000	150	2000	777 600	18

Tableau 3 : Périodicité optimale de la MP avec variation du coût CP

Dans le tableau 3, nous remarquons que lorsqu'on augmente le coût de remplacement préventif, la périodicité d'intervention préventive T^* augmente, donc il vaut mieux de faire moins de maintenance préventive.

5.2 Etude de sensibilité basée sur la variation du coût de réparation minimale MC

Dans cette partie de notre étude, nous mettons l'accent sur le coût de la réparation minimale MC, pour illustrer son effet sur le comportement de la périodicité optimale de remplacement T^* .

N=10, N=4				
CP (Um)	CE (Um)	MC (Um)	CTM (Um)	T*(mois)
400	150	20	10 370	18
400	150	50	19 025	18
400	150	100	32 492	15
400	150	120	37 721	15
400	150	200	57 471	12
400	150	1000	254 957	12
400	150	2000	501 814	12
400	150	5000	1,24.10 ⁶	12

Tableau 4 : Périodicité optimale de la MP avec variation du coût MC

Dans le tableau 4, on remarque que lorsqu'on augmente le coût des actions de maintenance corrective MC, la périodicité de remplacement préventive diminue, ce qui est logique. Donc il vaut mieux de faire plus de maintenance préventive.

5.3 Etude de sensibilité basée sur la variation du taux de panne

Dans cette partie, nous allons faire une variation du taux de panne pour montrer son effet sur le comportement de la périodicité optimale de remplacement T^* .

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de cette étude.

N=10, N=4				
CP (Um)	MC (Um)	Taux de panne λ_s (mois ⁻¹)	CTM(Um)	T*
400	2000	1/600	11 733	18
400	2000	1/400	15 230	18
400	2000	1/250	21 299	15
400	2000	1/200	24 955	15
400	2000	1/100	43 038	12
400	2000	1/7	501 814	12
400	2000	1/2	1.7361.10 ⁶	12

Tableau 5 : Périodicité optimale de la MP avec variation du taux de panne

Dans le tableau 5, on remarque que lorsqu'on augmente le taux de panne, la périodicité de remplacement préventive diminue, ce qui est totalement logique. Donc il vaut mieux de faire plus de maintenance préventive.

Nous pouvons donc illustrer la synthèse de l'étude de sensibilité comme suit :

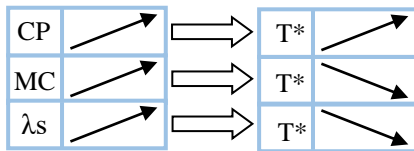


Figure 4 : Synthèse de l'étude de sensibilité

6 CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons développé une stratégie de maintenance préventive pour un groupement de plusieurs panneaux photovoltaïques interconnectés en série, afin de minimiser le coût total de maintenance. La stratégie de maintenance utilisée doit déterminer le nombre optimal de panneaux à changer ainsi que la périodicité optimale correspondant au nombre de panneaux à changer sur un horizon de temps limité. L'horizon fini est divisé en périodes égales.

Un modèle mathématique a été développé avec un nombre de cycle et un nombre de panneaux à changer, afin d'obtenir un calendrier de maintenance préventive en minimisant le coût total de maintenance.

L'approche de modélisation proposée a été illustrée sous forme d'un exemple numérique, avec une étude de sensibilité par rapport au coût des données numériques, afin de montrer l'impact de la variation du lissage des paramètres sur la solution obtenue.

Cette analyse a permis d'identifier un ensemble de situations problématiques possibles que les professionnels peuvent trouver dans l'application des modèles d'optimisation de la maintenance et des solutions correspondantes. Les difficultés liées à la mise en œuvre des modèles de maintenance sont un sujet qui a reçu peu d'attention dans la littérature. La proposition de cette solution a été partagée pour aider les entreprises d'énergie solaire à créer les conditions nécessaires aux études de fiabilité et à la mise en œuvre d'un système rentable et efficace appliqué aux modèles de maintenance. Par conséquent, ce document aide à réduire au minimum l'écart identifié dans la littérature entre la théorie et la pratique.

Des extensions de ce travail sont envisagées. L'une d'entre elles consiste à étudier des situations plus réalistes dans lesquelles les actions de maintenance préventive sont imparfaites avec des durées non négligeables de maintenance. Une autre extension de ce travail consisterait à tester d'autres types d'associations entre panneaux solaires, comme l'association parallèle et l'association série-parallèle. Des expressions plus générales devraient être étudiées de manière empirique et analytique.

REFERENCES

- [1] T. Nakagawa, «Optimum policies when preventive maintenance is imperfect,» pp. pp: 331-332, 1979.
- [2] R. E. Barlow et F. Proschan, *Mathematical theory of reliability*, John Wiley sons., 1965.
- [3] T. Nakagawa, «A summary of periodic replacement with minimal repair at failure,» *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 1981.
- [4] R. Barlow et L. Hunter, «Optimum preventive maintenance policies,» *Operations research*, pp. :90-100, 1960.
- [5] T. Nakagawa, X. Zhao et W. Young Yun, «Optimal age replacement and inspection policies with random failure and replacement times,» *International Journal of Reliability ,Quality and Safety Engineering*, pp. 405-416, 2011.
- [6] M. Ben-Daya, s. O. Duffuaa et Abdul Raouf, «Maintenance, modeling and optimization,» *Springer Science & Business Media*, 2012.
- [7] H. Wang et H. Pham, «Optimal age-dependent preventive maintenance policies with imperfect maintenance,» *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, pp. :119-135, 1996.
- [8] M. Park et H. Pham, «Cost models for age replacement policies and block replacement policies under warranty,» *Applied Mathematical Modelling*, pp. :5689-5702, 2016.
- [9] R. V. Canfield, «Cost optimization of periodic preventive maintenance,» *IEEE Transactions on Reliability*, pp. :78-81, 1986.
- [10] P. G. a. L. Nonant, «Entretien et renouvellement d'un parc de machines,» *Revue Française de Recherche Opérationnelle*, vol. vol. 7, pp. 5-19, 1963.
- [11] Q. Dai, «Optimal Photovoltaic/Battery Energy Storage/Electric Vehicle Charging Station Design Based on Multi-Agent Particle Swarm Optimization Algorithm,» *MDPI journals/sustainability*, 2019.
- [12] L. F. Villa et Lavado, «Maximizing the power output of partially shaded photovoltaic plants through optimization of the interconnections among its modules,» *IEEE J.Photovoltaics*, vol. 2, p. 154–163, 2012.
- [13] Tsanakas, «Faults and infrared thermographic diagnosis in operating c-Si photovoltaic modules,» *a review of research and future challenges, Renew. Sustain. Energy Rev*, p. 695–709, 2016.
- [14] M. Saidan, A. Albaali, E. Alasis et Kaldellis, «Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment,» p. 499–505, 2016.
- [15] A. Cagnano et E. De Tuglie, «A decentralized voltage controller involving PV generators based on Lyapunov theory,» *Renewal. Energy* 86, p. 664–674, 2016.
- [16] J. Jung, A. Onen, K. Rusell et R. Broadwater, «Configurable, hierarchical, model-based, scheduling control with photovoltaic generators in power distribution circuits,» *Renew. Energy* 76, p. 318–329, 2015.
- [17] F. Torrent-Fontbona et B. López, «Decision support for grid-connected renewable energy generators planning,» *Energy*, p. 577–590, 2016.
- [18] W. Wang, L. A. Ch-F, H.-H. Chung et R. Lau, «Fault diagnosis of photovoltaic panels using dynamic current-voltage characteristics,» *IEEE Trans. Power Electron.* 31 (2),, p. 1588–1599, 2016.